

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

На правах рукописи



Лукьянов Андрей Евгеньевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
И РЕМОНТА ПОЛИГОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

2.5.22. Управление качеством продукции.
Стандартизация. Организация производства

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
Пантюхин Олег Викторович
доктор технических наук, доцент

Тула 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Анализ производственного процесса технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования.....	10
1.1 Система технического обслуживания и ремонта военной техники	10
1.2 Состав полигонного оборудования и его специфика.....	12
1.3 Анализ проведения ТОиР полигонного оборудования в местах базирования.....	16
1.4 Процесс оперативного планирования ТОиР полигонного оборудования.....	19
1.5 Выводы по главе.....	21
2 Модель процесса технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования на основе метода сетевого моделирования нового объекта	22
2.1 Формирование математической модели технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования.....	22
2.2 Определение вероятностных характеристик сетевой модели методом оценки и анализа проектов PERT.....	34
2.3 Выводы по главе.....	42
3 Метод настройки параметров модели процесса технического обслуживания и ремонта, основанный на коэффициенте поломок полигонного оборудования.....	43
3.1 Разработка необходимого и достаточного условия проведения технического обслуживания и ремонта на основе мониторинга технического состояния полигонного оборудования.....	43
3.2 Статистический анализ коэффициента поломок полигонного оборудования по различным изделиям	58
3.3 Выводы по главе.....	103

4 Практическая реализация процесса технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования на основе разработанного инструментария.....	105
4.1 Метод настройки параметров модели с адаптацией под реальные ремонтные процессы	105
4.2 Имитационная модель процесса технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования на примере конкретной организационно-технической системы.....	111
4.3 Выводы по главе.....	122
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	124
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	126
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	137

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Для отработки навыков стрельбы, а также группового взаимодействия личного состава в армии РФ уже долгое время применяется полигонное оборудование. Сейчас же вопрос подготовки солдат стоит особенно остро, а своевременные поставки оборудования в войска и поддержание его работоспособности критически важны. Современные тенденции развития машин, оборудования и технологических систем проявляются в увеличении сложности конструкции и многофункциональности техники, что приводит к росту потенциально возможных отказов и сбоев в работе технических устройств. Также в процессе эксплуатации оборудование выходит из строя по причине износа или повреждений во время стрельб.

Производство полигонного оборудования, используемого в ВС РФ, носит массовый характер, и легко представить колоссальные объемы выпуска продукции ежегодно. Учитывая огромную территорию РФ и количество военных округов, расположенных от Мурманска до Камчатки, можно прийти к выводу о том, что, помимо ремонта, огромные ресурсы затрачиваются на логистику и транспортировку оборудования, командирование ремонтных бригад. Регулярно заводом-изготовителем проводятся как техническое обслуживание и ремонт (далее – ТОиР) точечных неполадок, возникающих в процессе эксплуатации оборудования, так и полноценный ремонт в заводских условиях.

Из рабочей статистики предприятия можно сделать вывод, что вызовы ремонтных бригад воинскими частями не сопровождаются конкретной информацией о поломках из-за отсутствия специалистов на самих полигонах, способных грамотно диагностировать неполадки. Возникает высокая неопределенность характера поломок и предварительных причин отказа, что также заставляет избыточно комплектовать бригаду специалистами несоответствующей квалификации и снабжать несоответствующим оборудованием. В свою очередь, процесс ТОиР полигонного оборудования в местах базирования ста-

новится максимально хаотичным и несоответствующим качеству, необходимому потребителям.

Перечисленные проблемы приводят к отсутствию понимания временных норм, которые закладываются на работы, нарушениям ритмичности производственных циклов и срывам сроков. Кроме всего перечисленного, предприятие обременяется существенными экономическими издержками.

Таким образом, актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью разработки совокупности инструментов поддержки принятия решений по организации ТОиР, основанных на моделировании широкого диапазона возможных сценариев процессов выполнения ТОиР полигонного оборудования как на местах эксплуатации, так и в условиях предприятия.

Степень разработанности. Проблемы планирования регламентированного ТОиР машин и оборудования в промышленности освещены в работах Квагинидзе В.С., Воронкин Ю.Н., Николенко А.М., Горчукова К.А., Поздняков Н.В., Воронкин Ю.Н., Поздняков Н.В., Пинемасова А.М., Пустонина Л.С. Весомый вклад в развитие оперативно-производственного планирования внесли Афилов Э.А., Бабич Т.Н., Вертакова Ю.В., Иванов И.Н. Вопросами стратегического планирования процессов ТОиР занимались: Абалкин Л.И., Виханский О.С., Чуднова Г.А., Кислов А.С., Рыжикова Т.Н., Джеффри Лайкер (Jeffrey Liker). Вопросы управления жизненным циклом продукции поднимались в работах Никифоров А.Д., Бакиев А.В., Хитоси Такеда (Hitoshi Takeda), Уильям Детмер (William Dettmer), Эли Шрагенхайн (Eli Schragenheim).

Однако в вышеперечисленных работах не рассматривались особенности выполнения работ по ТОиР изделий военно-промышленного комплекса в местах базирования. Процесс ТОиР непосредственно в местах эксплуатации военных изделий имеет свои особенности и определенную специфику в части организации, планирования и принятия решений. Исследователями Шиловским В.Н., Питухиным А.В., Костюкевичем В.М. в научных работах рассмотрены проблемы организации процесса сервисного обслуживания военной тех-

ники с вариантами их автоматизации. Однако в них не затрагивается специфика процесса оперативного планирования ТОиР изделий военно-промышленного комплекса в местах эксплуатации, не проработаны механизмы, позволяющие улучшать ритмичность работы предприятия, работающего в таких условиях, а также нет критериев, отражающих целесообразности его проведения.

Целью исследования является повышение качества процессов технического обслуживания и ремонта за счет разработки комплекса инструментов поддержки принятия решений по управлению техническим обслуживанием полигонного оборудования на местах базирования, включающих имитационную модель ремонтных работ, для оперативного планирования сроков выполнения работ, необходимого количества персонала и его специализации.

Задачи исследования:

1. Анализ процесса ТОиР полигонного оборудования в местах базирования (воинских частях) и подходов к повышению качества проведения ремонтных работ.
2. Исследование структуры и ключевых особенностей процесса оперативного планирования ТОиР в местах эксплуатации.
3. Моделирование процесса технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования в местах эксплуатации на основе системы оценки о качестве работ.
4. Разработка метода настройки параметров модели процесса технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования в местах эксплуатации для ее адаптации к реальному процессу проводимых работ.
5. Разработка имитационной модели процесса технического обслуживания и ремонта для определения количества и квалификации персонала, принимающего участие в процессе ремонтных работ на местах базирования, а также операционного прогнозирования результатов работ.

б. Апробация инструментов поддержки принятия решений, разработанных на основе оценки качества выполнения процесса технического обслуживания и ремонта с финансово-экономическими результатами.

Область исследований диссертации

Научная новизна соответствует паспорту научной специальности 2.5.22 в следующих пунктах:

«16. Моделирование и оптимизация организационных структур и производственных процессов, вспомогательных и обслуживающих производств. Экспертные системы в организации производственных процессов».

«23. Разработка и совершенствование методов и средств планирования и управления производственными процессами и результатами».

Объектом исследования является процесс технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования в местах базирования.

Предметом исследования являются методы совершенствования процессов технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования в местах базирования.

Научная новизна

Научная новизна проведенного исследования заключается в следующих положениях.

1. Разработана модель процесса технического обслуживания и ремонта, отличающаяся применением известного метода сетевого моделирования к новому объекту.

2. Разработан метод настройки параметров модели процесса технического обслуживания и ремонта, отличающийся наличием необходимого и достаточного условия для проведения процесса технического обслуживания и ремонта на основе коэффициента поломок полигонного оборудования.

3. Создана имитационная модель процесса технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования на местах эксплуатации, которая позволяет оперативно планировать необходимое количество и специализацию пер-

сонала, а также сроки окончания работ и отличается находящейся в основе этой модели модифицированной матрицей вероятностей Маркова.

Теоретическая значимость диссертации заключается в развитии средств и методов планирования и управления процессом технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования в местах эксплуатации.

Практическая значимость диссертации состоит в повышении эффективности процесса принятия управленческих решений по организации технического обслуживания и ремонта в местах эксплуатации на основе применения разработанных инструментов, позволяющих систематизировать процессы ремонтных работ за счет возможности прогнозирования сроков работ, количества требуемого персонала и его специализации, что позволит оптимизировать работу предприятия.

Предложенные методы и инструменты могут быть использованы не только на оборонно-промышленных предприятиях, но и в других организациях, занимающихся ТОиР техники.

Предложенный подход к принципу формирования выездных бригад позволит существенным образом сэкономить средства предприятий, повысить эффективность выполнения работ и оптимизировать время самих работ.

Методология и методы исследования

Решение поставленных задач проведено на основе методов математического и имитационного моделирования, метода сетевого моделирования с целью проверки адекватности теоретических положений.

Положения, выносимые на защиту:

1. Модель процесса технического обслуживания и ремонта.
2. Метод настройки параметров модели процесса технического обслуживания и ремонта с адаптацией модели под реальные ремонтные процессы.
3. Имитационная модель процесса технического обслуживания и ремонта машин и оборудования на местах эксплуатации, позволяющая опера-

тивно прогнозировать сроки окончания работ, требуемое количество и специализацию персонала.

Степень достоверности и апробация результатов. Подтверждение достоверности научных результатов обеспечивается использованием общеизвестных методов исследования, методологических принципов организации производства, а также сходимостью результатов проведённого модельного эксперимента и практического внедрения разработанных инструментов в АО «Тулаточмаш». Результаты исследований обсуждались на XI Международном аэрокосмическом конгрессе, посвящённом 90-летию со дня рождения первого космонавта Земли Ю.А. Гагарина.

Публикации. Основные результаты научного исследования опубликованы в 6 статьях в рецензируемых журналах ВАК. Всего опубликовано 8 статей в различных журналах и сборниках.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объём диссертации составляет 137 страниц, включая 53 рисунка, 18 таблиц, список литературы из 101 наименования.

1 АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПОЛИГОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1.1 Система технического обслуживания и ремонта военной техники

Вопрос поддержания вооружения и военной техники в исправном состоянии для обеспечения боеготовности российской армии особо актуален на данный момент. Одним из способов поддержания боеготовности является своевременное сервисное обслуживание военной техники. Согласно ГОСТ РВ 0101-001-2007 «Эксплуатация и ремонт изделий военной техники. Термины и определения» сервисное обслуживание изделия военной техники это комплекс работ, направленных на поддержание и восстановление работоспособного или исправного состояния и ресурса изделия военной техники, выполняемых специалистами сервисной организации самостоятельно или с участием личного состава эксплуатирующей организации и других исполнителей. В сервисное обслуживание могут входить: все виды технического обслуживания и все виды ремонта изделия военной техники, гарантийный и сервисный ремонт при эксплуатации изделия военной техники, работы по гарантийным обязательствам сервисной организации, работа по бюллетеням, мониторинг технического состояния изделия военной техники, хранение запасных частей и материалов, обучение специалистов эксплуатирующей организации, а также, при необходимости, другие виды работ и услуг, предусмотренные контрактом [1-4].

Одним из видов военной техники является полигонное оборудование, которое также нуждается в регулярном техническом обслуживании или полном восстановлении. Организация, специализирующаяся на ремонте и обслуживании полигонного оборудования заключает контракт с министерством обороны, в котором прописаны типы изделий, подлежащие восстановлению, и сроки проведения. В договоре прописываются воинские части, которые нуж-

даются в ТОиР своего полигонного оборудования. Предприятие, заключившее контракт, на основе имеющихся данных производит приблизительную оценку масштаба работ. После чего составляется план график работ. В ГОСТ РВ 0101-001-2007 прописаны возможные варианты проведения ремонтных работ «Сервисное обслуживание изделий военной технике (далее – ВТ) может выполняться:

– по месту нахождения изделий ВТ – в пунктах (местах) базирования (дислокации) эксплуатирующей организации и (или) расположения неисправленных изделий ВТ (в полевых условиях или в море) (если такое требование установлено сервисным контрактом);

– по адресу места осуществления лицензируемого вида деятельности – на территории сервисной организации. Организация сама принимает в каких условиях проводить ремонт полигонного оборудования. На этот выбор влияет целый ряд факторов, начиная от характера поломок до технических условий полигона для проведения восстановительных работ.

Данная неопределённость вносит свои допущения в первоначальный план график поскольку зачастую предприятие не имеет детальной информации от воинских частей. В ГОСТ РВ 0101-001-2007 «Эксплуатация и ремонт изделий военной техники. Термины и определения» приводятся следующие определения вышеуказанных работ [5-8].

Техническое диагностирование – определение технического состояния изделия военной техники. Задачами технического диагностирования являются контроль технического состояния, поиск места и определение причин отказа (повреждения), прогнозирование технического состояния.

Иными словами формируются бригады для оценки и диагностики имеющегося оборудования, после чего принимается решение о месте проведении ремонта. Если ремонт не требует специализированного оборудования, восстановления гальванического покрытия и т.д., то принимается решение о восстановлении полигонного оборудования в условиях самого полигона.

Формируется бригада специалистов разного профиля, заказывается транспорт под их нужды и составляется смета для закупки запасных частей. В случае невозможности проведения ремонта на полигоне, принимается решение на составление акта о временной передаче полигонного оборудования на предприятие по ремонту для проведения дальнейших восстановительных работ. Такой ремонт, как правило, более долгий и включает в себя широкий спектр самых разных работ по восстановлению. Так в ходе технического диагностирования изделия ВТ определяется детальный объём и более точные сроки проведения ремонта [9-13].

Организация запрашивает всю необходимую конструкторскую документацию, необходимую для восстановления. Все работы должны строго выполняться по чертежам изделий и предъявляться заказчику. После окончательной сборки изделия проверяются на функционирование и работоспособность по процедуре как прописано в руководстве по эксплуатации данного изделия. В случае успешного прохождения данного этапа изделия отправляются в воинскую часть, где уже в присутствии военного представителя сдаются обратно в войска. Если процесс восстановления проходит на полигоне, то все приемо-сдаточные мероприятия проходят на месте.

1.2 Состав полигонного оборудования и его специфика

Установки для подъёма мишеней делятся на различные виды, по тяжести поднимаемого груза и условий их применения. Существуют стационарные подъёмники, которые устанавливаются в специально оборудованные окопы и питающихся от кабелей питания проложенных на полигоне. Если условия требуют отработку группового взаимодействия подразделений в не оборудованной местности, то применяются отдельные комплексы оборудованные переносными источниками питания (автомобильные аккумуляторы). Отработка навыков стрельбы нуждаются различные виды войск, поэтому существует широкий перечень мишеней имитирующие цели от самых маленьких, как

например мишень стрелка или пулемётный расчёт, заканчивая имитацией танков и вертолётков. Вес таких мишеней является определяющим для выбора мощности установок [14-18].

В состав любой установки для подъёма входит как электрическая часть, так и механическая. Электрическая часть состоит из микросхем, электроплат, розеток, вилок, датчиков и кабелей. Сигнал на установки приходит с управляющих устройств. Механическая же часть представляет собой корпус, редуктор с электродвигателем и системой валов и рычагов для подъёма мишени. Последние версии подъёмников лёгкого типа имеют практически идентичную часть в угоду универсальности, чего нельзя сказать о более старых версиях. Данный факт стоит учитывать в составлении объёма складских запасов.

На рисунке 1.1 представлена унифицированная мишенная установка и является наиболее массовой. Данный тип подъёмников, как правило, устанавливается за специальный бруствер и применяется на оборудованных полигонах. Питание поступает через заранее проложенный кабель питания, а управление осуществляется по радиоканалу.

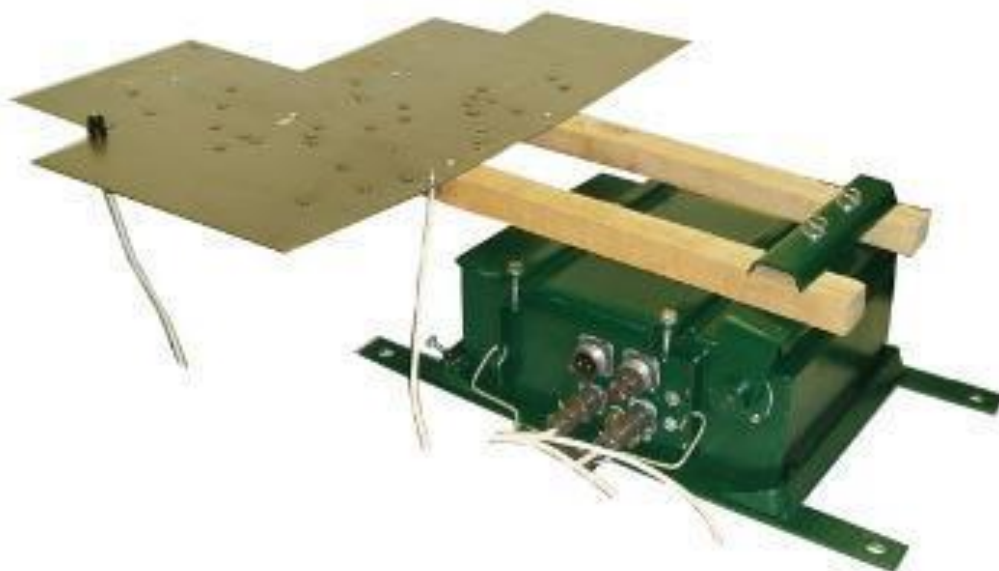


Рисунок 1.1 – Унифицированная мишенная установка УМУ-С-127

Далее на рисунке 1.2 представлен ротный-тактический комплекс, предназначенный для отработки группового взаимодействия роты, как в подготовленных условиях так и нет. Данный комплекс состоит из 80 лёгких подъёмников, 6 тяжёлых и имеет свою аппаратуру для управления. Источником питания является связка аккумуляторов, что делает его мобильным и не требует оборудованного места для применения. Устанавливается в любой местности, в эшелонированный порядок, а его управление осуществляется, как из стационарного пункта, так и из передвижного.



Рисунок 1.2 – Ротный-тактический комплекс РТК-1

На рисунке 1.3 представлена установка движущейся мишени в состав которой входят тяжёлые мишенные подъёмники, передвижные тележки, лебёдка и рельсовая дорога. Этот комплекс имитирует колонну техники и предназначен для отработки навыков стрельбы по движущимся целям.



Рисунок 1.3 – Установка движущейся мишени УДМ

Это наиболее распространённое полигонного оборудование, которое используется в армии РФ. Несмотря на достаточно узкую линейку продукции, есть большая проблема, заключающаяся в многообразии исполнений одних и тех же моделей подъёмников. Причина во многом заключается в разных заводах-изготовителях, которые когда-то производили полигонное оборудование. С окончанием контракта или закрытием предприятий выпуск продукции переносился на другие заводы оборонно-промышленного комплекса, которые, в свою очередь, вносили определённые изменения в конструкции изделий. Часто бывают случаи, когда в одной воинской части находятся сразу несколько исполнений одного типа установки. Определённые трудности вносит и год

выпуска. Старые подъёмники выпускаемые в СССР имеют перечень электрического оборудования, как например вилки, розетки и составляющие компоненты электрических плат, которые либо уже сняты с производства, либо сроки поставок таких комплектующих растягивается на годы.

Учитывая обязательство выполнить работы в строгом соответствии с конструкторской документации, предприятие вынуждено сдвигать сроки выполнения ремонта или проводить типовые испытания аналоговых компонентов, что также существенным образом влияет на ритмичность процесса и сроки. Стоит отметить всю сложность проведения типовых испытаний и их длительность, организации как правило не идут на такие меры, поскольку эта процедура останавливает весь процесс производства и всеми силами стараются закупить редкие компоненты.

1.3 Анализ проведения ТОиР полигонного оборудования в местах базирования

Учитывая специфику работ, стоящих перед организацией, можно утверждать, что проводя ремонт в условиях полигона сопровождается целым рядом трудностей и имеет свою специфику кардинальным образом отличающуюся от ремонта в условиях предприятия. Применение полигонного оборудования носит массовый характер и почти каждая воинская часть оснащена им. География расположения столь разнообразна, что такие области как Мурманская, Амурская, Калининградская, республика Тыва, Хабаровский и Камчатский край не являются исключением [19-24].

Командирование бригад сопровождается тратой огромных ресурсов на логистику, транспортировку оборудования, командирование людей. Исходя из имеющихся реалий и вследствие удаления полигонов нет возможности использовать служебный автомобильный транспорт, и командированные бригады вынуждены использовать самолёты, ж/д поезда, как средство передвижения и перевозки инструментов и оборудования. Часто случаются простои бри-

гад, связанные с ожиданием недостающего оборудования либо комплектующих, что вносит свои коррективы в процесс организации выездных работ и штат сотрудников.

Также ТОиР полигонного оборудования в местах базирования имеют свои особенности, обусловленные дефицитом средств механизации и автоматизации, отсутствием достоверных данных о фактическом состоянии полигонного оборудования. На практике были созданы ремонтные бригады, сформированные из работников предприятия, выполняющих ТОиР на местах базирования полигонного оборудования, но без системного подхода к данной задаче. Результатом становятся увеличения сроков ремонта, затраты на дополнительные издержки, простой рабочих групп в виду недооценки степени неполадки, либо нехватки запасных частей и нестабильности работы бригад ТОиР. Незаконченный ремонт может растягиваться на неопределённый срок, что также непосредственно влияет на результативность и ритмичность работ и, как следствие, снижает эффективность и организацию в целом. В свою очередь, процесс планирования ТОиР полигонного оборудования в местах базирования становится максимально хаотичным.

Следует отметить принцип формирования бригад, который зависит от специфики ремонта и каждого конкретного случая. Полигонное оборудование представляет собой достаточно сложные изделия и требует высокой квалификации специалистов широкого профиля. На полигонах могут проводиться не только виды работ, связанные с заменой электрических блоков, но и производится ремонт механических узлов и деталей. Ещё одной из причин отказов могут являться ошибки, связанные с программным обеспечением, нарушением работы антенн и связи. Все эти факторы принимаются во внимание при формировании бригад (рисунок 1.4).

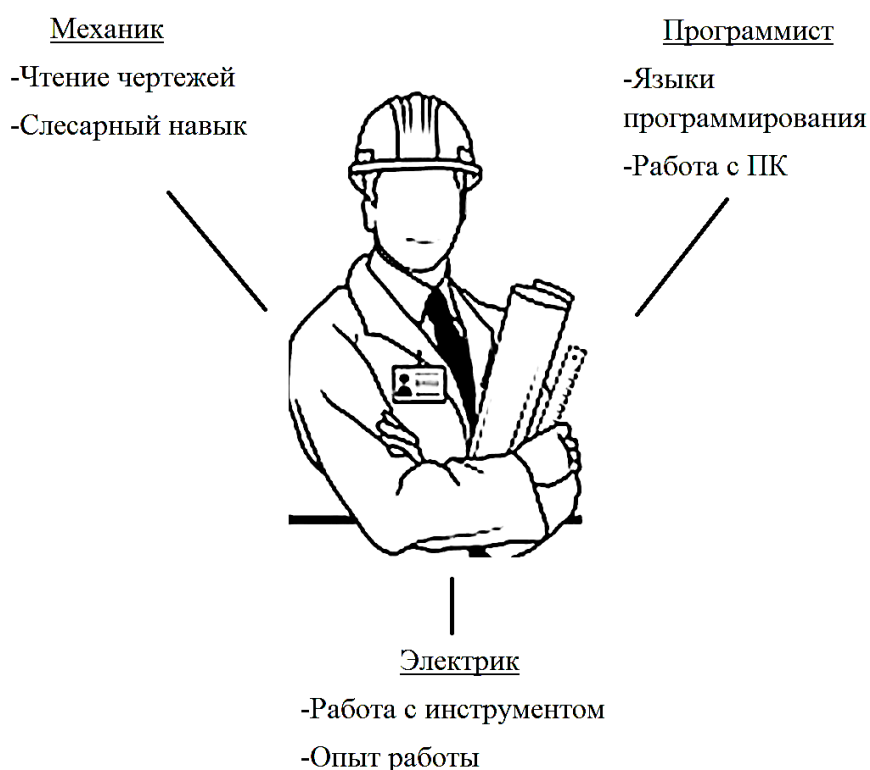


Рисунок 1.4 – Схема навыков и умения работников выездных бригад

В состав каждой бригады должны быть включены специалисты разного профиля. Механик отвечает за восстановление узлов и механизмов изделия. Он должен иметь определённый базовый набор навыков и умений по чтению конструкторской документации и быть способен проводить качественный ремонт в условиях ограниченности ресурсов. В область ответственности электрика входят диагностика и дефектовка электрических узлов, проверка на работоспособность двигателей или актуаторов. Имея в наличии запасные части, рабочий также должен быть способен произвести ремонт в условиях полигона. Поломки, связанные с программным обеспечением, не так распространены по сравнению с вышеперечисленными, но предприятие вынужденно иметь в своём штате специалистов всех сфер для возможности решать задачи самого разного уровня сложности и специфики.

Если по причинам высокого износа, сильного механического повреждения и т.д. бригада не в состоянии провести полноценный ремонт на месте,

принимается решение продолжить работы на предприятии и забрать часть оборудования, не подлежащего восстановлению. Уже в заводских условиях по результатам предварительного ремонта будет приниматься решение о дальнейшей судьбе изделия. Возможны разные сценарии действий, начиная от применения станков и оборудования для восстановления корпусных деталей или узлов привода до полного списания и замены их на новые.

1.4 Процесс оперативного планирования ТОиР полигонного оборудования

Контракт на ТОиР полигонного оборудования является государственным оборонным заказом и требует согласования с военным представительством. На этапе согласования возникает ряд разногласий между предприятием и министерством обороны на основании которых составляется протокол разногласий. Как правило, они могут касаться сроков выполнения работ и конкретных этапов. После чего происходит процесс урегулирования между сторонами, поиск компромиссов в спорных вопросах. Окончательный план-график подписывается и организация приступает к непосредственному выполнению своих обязательств.

На основании плана-графика происходит последовательная работа организации, занимающейся ТОиР, с конкретной воинской частью. На начальном этапе воинская часть получает запрос о её готовности к проведению ремонтных работ в определённые сроки. В случае возможности проведения таких работ воинская часть присылает официальный ответ на имя директора предприятия, в котором говорится о возможности принять командированных сотрудников. Получив это письмо, руководящий состав комплектует бригаду из специалистов и готовит необходимые документы и техническое задание. Если же сроки не устраивают, то происходят согласование новых дат проведения ремонта с заказчиком и корректировка плана-графика.

Прибыв на место, руководитель бригады проводит процедуру приёма передачи полигонного оборудования для проведения сервисного обслуживания. Составляются ведомости в которых прописано заранее оговорённое количество изделий, так же допускается взятие дополнительного объёма работ в случае необходимости. Специалисты проводят инвентаризацию и дефектовку с представителем части на предмет комплектности изделий и соответствиям требований контракта. В случае удовлетворения всех пунктов, составляется акт приёма передачи или мотивированный отказ в случае несоответствия. На основании диагностики и перечня неисправностей принимается решение о месте проведении работ, будь то в условиях полигона или в условиях предприятия. Если работы производятся в месте базирования полигонного оборудования, то работы могут быть приостановлены только по причинам нехватки комплектующих или невозможности произведения ремонта в полевых условиях. После чего происходит корректировка сроков по причинам закупки недостающих компонентов или ввиду сроков на доставку в дальнейшее место проведения ремонта. Акт о передачи изделий на предприятие подписывается начальником полигона и назначается ответственный за хранение.

После проведения ремонта или же полного восстановления проводятся проверка работоспособности изделий и предъявление военному представителю. Каждая восстановленная установка проверяется в соответствии с требованиями руководства по эксплуатации в присутствии военного представителя в месте базирования. При полной работоспособности подписывается акт о принятии изделий воинской частью. В случае выявления неисправностей предприятие, выполняющее ремонт, должно устранить неисправности.

По окончанию ТОиР полигонного оборудования составляются расчётно-калькуляционные материалы (РКМ), которые предъявляются для согласования заказчику. Данный документ утверждается военным представительством министерства обороны и оформляются платёжные документы на выполненные работы.

1.5 Выводы по главе

В данной главе по результатам анализа процесса ТОиР полигонного оборудования были обозначены основные проблемы и трудности, мешающие его ритмичному функционированию.

1. Проведён обзор наиболее распространённого полигонного оборудования, имеющегося в воинских частях, подлежащего ремонту и восстановлению.

2. Рассмотрены особенности комплектования бригад, принимающих участие в ремонте оборудования в местах базирования, с учётом всех возможных особенностей.

3. Проведён анализ ремонтных работ с разными типами изделий. Проанализирована система принятий решений в производственном процессе ТОиР полигонного оборудования с имеющимися специфическими особенностями. Отмечена потребность в индивидуальном подходе к проведению работ в каждом отдельном случае.

4. Выявлена необходимость в оптимизации ресурсов на проведение ремонтных работ в местах базирования по причине системного подхода к формированию бригад и системе оценки износа изделий.

Все вышеперечисленное свидетельствует о необходимости дальнейшего совершенствования ТОиР полигонного оборудования.

2 МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПОЛИГОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА СЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НОВОГО ОБЪЕКТА

2.1 Формирование математической модели технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования

Для детального анализа производственного процесса, проблем его функционирования, а также получения информации о поведении при воздействии различных факторов сформируем его математическую модель. Данная модель позволяет описывать производственные процессы с использованием математического аппарата с целью их дальнейшего анализа и применения инструментов управления.

В нашем случае наиболее подходящим методом создания модели является моделирование на основе сетевой модели, которая используется для моделирования динамических дискретных систем, которые позволяют не только моделировать процесс, но и находить «узкие», проблемные места процесса для их оптимизации [25-33].

Сетевая модель (СМ) состоит из следующих элементов: операция, событие и путь.

Операция характеризует действие или материальное, требующее использования ресурсов, или логическое, требующее лишь взаимосвязи событий. При графическом представлении операция изображается стрелкой, которая соединяет два события. Обозначается парой заключенных в скобки чисел (i, j) : первое “ i ” представляет собой номер события, из которого операция исходит, а второе “ j ” - номер события, в которое она входит. Операция не может начаться раньше, чем наступит событие, из которого она исходит. Каждая операция имеет определенную продолжительность $t(i, j)$. Например, запись $t(2, 5) = 4$ означает, что операция исходит из события 2, входит в событие 5 и имеет продолжительность 4 единицы времени. К операциям относятся также

процессы, которые не требуют ни ресурсов, ни времени выполнения, они устанавливают логическую взаимосвязь событий и показывают, что одна из них непосредственно зависит от другой. Такие операции называются фиктивными.

Событиями называются результаты выполнения одной или нескольких операций. Они не имеют протяженности во времени. Событие наступает в тот момент, когда оканчивается последняя из операций, входящих в него. Событие обозначается одним числом и при графическом представлении СМ изображается прямоугольником, внутри которого проставляется его порядковый номер ($i = 1, 2, \dots, N$). В СМ имеется исходное событие (с номером 1), из которого операции только исходят, и завершающее событие (с номером N), в которое операции только входят. Для любой операции (i, j) событие “ i ” называется начальным, а событие “ j ” – конечным.

Путь (полный) – это непрерывная цепочка следующих друг за другом операций, соединяющих начальное и конечное события сети. Продолжительность пути определяется суммой продолжительностей составляющих его операций. Путь, имеющий максимальную длину, называют критическим и обозначают $L_{кр}$, а его продолжительность – $t_{кр}$. Операции, принадлежащие критическому пути, называются критическими. Их несвоевременное выполнение ведет к увеличению срока окончания проекта, т.е. к срыву всего комплекса работ.

При построении сетевой модели необходимо соблюдать следующие правила:

1. События должны быть правильно занумерованы, т. е. для каждой операции (i, j) $i < j$;
2. Должны отсутствовать тупиковые (кроме завершающего) события, т.е. такие, за которыми не следует хотя бы одна операция;
3. Должны отсутствовать (за исключением исходного) события, которым не предшествует хотя бы одна операция;

4. Должны отсутствовать циклы, т.е. замкнутые пути, соединяющие событие с ним же самим;

5. Ни одна пара операций не должна определяться одинаковыми начальным и конечным событиями. Возможность неоднозначного определения операции через события появляется в случае, когда две или большее число операций допустимо выполнять одновременно.

При моделировании ТООР сетевая модель S будет состоять из четырех элементов $S = (P, T, Vr, L)$, где P - конечное множество событий сетевой модели $P = \{P_1, \dots, P_{22}\}$, T - конечное множество операций сетевой модели $T = \{t_1, \dots, t_{21}\}$ с временем выполнения операций $Vr = \{Vr_1, \dots, Vr_{21}\}$, L - путь полный, содержащий набор событий от первого до последнего, $L_{кр}$ - критический путь с максимальной длиной по продолжительности без циклов.

Исходная таблица для формирования сетевой модели ТООР полигонного оборудования с описанием событий, операций и непосредственно предшествующих операций представлена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Операции и события сетевой модели ТООР

№	Операции и события	Содержание	Непосредственно предшествующие операции
1	P1	План-график работ, поступивший на согласование	–
2	T1	Анализ плана-графика, поступившего на согласование	–
3	P2	Протокол разногласий	
4	T2	Урегулирование разногласий, утверждение плана-графика работ	T1
5	P3	Утвержденный план-график работ	
6	T3	Отправка запроса о готовности воинской части к проведению работ в заданные сроки	T2
7	P4	Ответ воинской части о готовности к проведению работ	–

№	Операции и события	Содержание	Непосредственно предшествующие операции
8	T4	Осуществление подготовки производства (мат. – технической, метрологической, финансовой организации, компетенции персонала и т.д.)	T3
9	T5	Согласование новых сроков проведения работ с воинской частью в случае ее неготовности к проведению работ и отправка запроса на корректировку плана графика Заказчику	T3
10	P5	Документы, необходимые для отправки выездной бригады (командировочные удостоверения, T3 и т.д.)	–
11	P6	Новые сроки проведения работ, согласованные с заказчиком	–
12	T6	Осуществление приема изделия полигонного оборудования для проведения сервисного обслуживания в воинской части	T4
13	P7	Ведомость приема в ремонт	–
14	T7	Оформление акта приема-передачи изделия ПО на сервисное обслуживание	T6
15	T8	Оформление мотивированного отказа в приеме изделия в ремонт в случае, если оно не соответствует требованиям контракта	T6
16	P8	Акт приема- передачи изделия ПО на сервисное обслуживание	–
17	P9	Мотивированный отказ в приеме изделия на сервисное обслуживание	–
18	T9	Проведение технического диагностирования изделия ПО	T7
19	T10	Оформление запроса о снятии изделия ПО с план – графика проведения работ	T8

№	Операции и события	Содержание	Непосредственно предшествующие операции
20	P10	Подтверждение снятия изделия ПО с плана-графика выполнения работ	–
21	P11	Дефектационная ведомость на диагностируемое изделие ПО	–
22	T11	Проведение ремонта изделия на полигоне (в случае возможного проведения)	T9
23	T12	Оформление рекомендаций на проведение ремонта изделия ПО в заводских условиях (в случае невозможного проведения ремонта на полигоне)	T9
24	P12	Перечень неисправностей на изделие ПО	–
25	P13	Оформление рекомендаций на проведение заводского ремонта изделия ПО	–
26	T13	Оформление акта о восстановлении изделия ПО	T11
27	T14	Оформление акта о приостановке работ ввиду необходимости закупки комплектующих для ремонта или заводского ремонта составных частей	T11
28	P14	Утвержденный начальником полигона акт о восстановлении изделия ПО	–
29	P15	Акт о приостановке работ ввиду необходимости закупки комплектующих для ремонта или заводского ремонта составных частей	–
30	T15	Проведение тестового технического обслуживания на исправном изделии ПО	T14

№	Операции и события	Содержание	Непосредственно предшествующие операции
31	T16	Оформление акта о приостановке работ в виду необходимости закупки материалов для технического обслуживания	T13
32	P16	Утвержденный начальником полигона акт о проведении сервисного обслуживания изделия ПО	–
33	P17	Акт о приостановке работ ввиду необходимости закупки материалов для технического обслуживания	–
34	T17	Утверждение акта сдачи – приемки выполненных работ, заполнение анкеты удовлетворенности потребителя	T15
35	P18	Утвержденные начальником полигона акт сдачи – приемки выполненных работ и анкета удовлетворенности потребителя	–
36	T18	Оформление дела ремонта изделия полигонного оборудования и расчетно-калькуляционных материалов (РКМ)	T17
37	P19	Оформление согласно требований контракта для ремонта в РКМ	–
38	T19	Предъявление дела ремонта и РКМ в военное подразделение (ВП)	T18
39	P20	Утвержденное ВП МО РФ удостоверение и заключение на выполненные работы	–
40	T20	Оформление платежных документов на выполненные работы	T19
41	P21	Оформленные платежные документы на выполненные работы	–
42	T21	Сдача документов Заказчику на оплату	T20
43	P22	Принятые Заказчиком документы на выполненные работы	–

Наиболее наглядным способом построения сетевой модели является формирование ее в виде направленного графа, состоящего из набора операций и событий без наличия циклов, которые характеризуют «узкие» места производственного процесса. На основе таблицы 2.1 можно построить сетевую модель в виде направленного графа выполнения производственного процесса технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования (рисунок 2.1).

Помимо графического представления, позволяющего наглядно исследовать моделируемый процесс, сетевую модель математически с оптимизацией пути можно записать следующим образом:

$$\begin{cases} Vr_{np}(t) = \min Vr_{np}(t), t \in B^* \\ t = (t_1, \dots, t_j), j \in B \\ B = \{1, \dots, 21\} \\ P = \{P_1, \dots, P_i, P_j\}, j \in B, i < j. \end{cases} \quad (2.1)$$

В модели (2.1) t – время j -й операции, B – количество операций, P – события в сетевой модели, $Vr_{np}(t)$ – путь в проекте.

В итоге, имеем сетевую модель с построенным критическим путем $L_{кр}$ (рисунок 2.2). Итоговая таблица с оптимальным видом для оперативно-календарного планирования (ОКП) процесса ТОиР полигонного оборудования имеет вид таблицы 2.2.

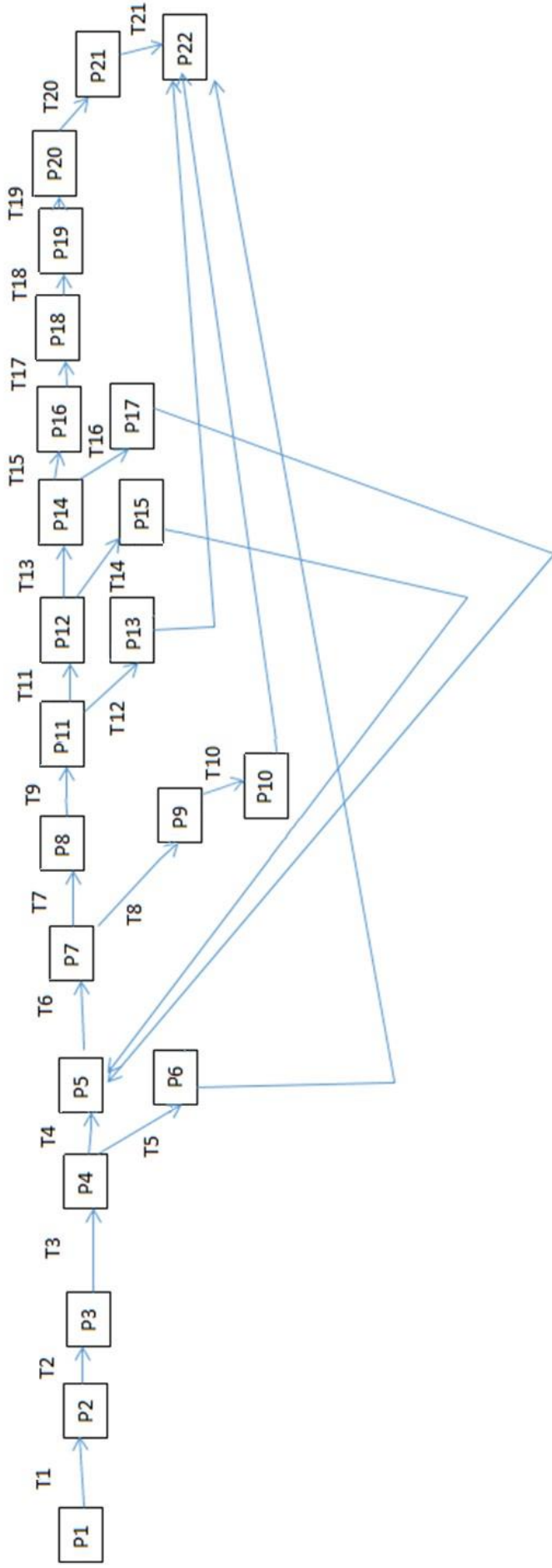


Рисунок 2.1 – Направленный граф сетевой модели выполнения производственного процесса технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования

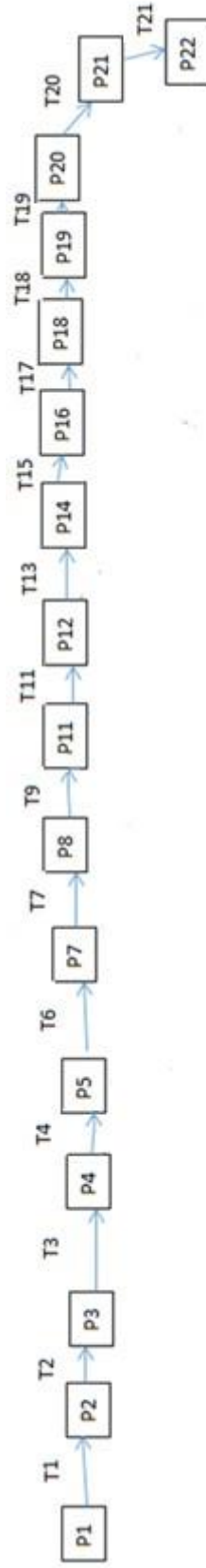


Рисунок 2.2 – Направленный граф оптимизированной сетевой модели ТоиР с критическим путем

Таблица 2.2 – Операции и события оптимизированной сетевой модели ТОиР полигонного оборудования

№	Операции и события	Содержание	Непосредственно предшествующие операции
1	P1	План-график работ, поступивший на согласование	–
2	T1	Анализ плана-графика, поступившего на согласование	–
3	P2	Протокол разногласий	–
4	T2	Урегулирование разногласий, утверждение плана-графика работ	T1
5	P3	Утвержденный план-график работ	–
6	T3	Отправка запроса о готовности воинской части к проведению работ в заданные сроки	T2
7	P4	Ответ воинской части о готовности к проведению работ	–
8	T4	Осуществление подготовки производства (мат. – технической, метрологической, финансовой организации, компетенции персонала)	T3
9	P5	Документы, необходимые для отправки выездной бригады (командировочные удостоверения, ТЗ и т.д.)	–
10	T6	Осуществление приема изделия полигонного оборудования для проведения сервисного обслуживания в воинской части	T4
11	P7	Ведомость приема в ремонт	–
12	T7	Оформление акта приема-передачи изделия ПО на сервисное обслуживание	T6
13	P8	Акт приема-передачи изделия ПО на сервисное обслуживание	–
14	T9	Проведение технического диагностирования изделия ПО	T7

№	Операции и события	Содержание	Непосредственно предшествующие операции
15	P11	Дефектационная ведомость на диагностируемое изделие ПО	–
16	T11	Проведение ремонта изделия на полигоне (в случае возможного проведения)	T9
17	P12	Перечень неисправностей на изделие ПО	–
18	T13	Оформление акта о восстановлении изделия ПО	T11
19	P14	Утвержденный начальником полигона акт о восстановлении изделия ПО	–
20	T15	Проведение тестового технического обслуживания на исправном изделии	T14
21	P16	Утвержденный начальником полигона акт о проведении сервисного обслуживания изделия ПО	–
22	T17	Утверждение акта сдачи – приемки выполненных работ, заполнение анкеты удовлетворенности потребителя	T15
23	P18	Утвержденные начальником полигона акт сдачи – приемки выполненных работ и анкета удовлетворенности потребителя	–
24	T18	Оформление дела ремонта изделия ПО и расчетно-калькуляционных материалов (РКМ)	T17
25	P19	Оформление согласно требований контракта для ремонта в РКМ	–
26	T19	Предъявление дела ремонта и РКМ в военное подразделение (ВП)	T18
27	P20	Утвержденное ВП МО РФ удостоверение и заключение на выполненные работы	–

№	Операции и события	Содержание	Непосредственно предшествующие операции
28	T20	Оформление платежных документов на выполненные работы	T19
29	P21	Оформленные платежные документы на выполненные работы	–
30	T21	Сдача документов Заказчику на оплату	T20
31	P22	Принятые Заказчиком документы на выполненные работы	–

Представление исследуемого производственного процесса в виде сетевой модели позволяет наглядно отобразить все его стадии, обнаружить проблемы их функционирования и принять решение по способам их разрешения. Из построенной сетевой модели ТОиР полигонного оборудования можно увидеть, что в результате наступления определенных событий, выраженных в выполнении некоторых операций, выполняется возврат к ранее осуществленным событиям или же сеть приходит к выполнению возвратного цикла, также может быть переход к конечному событию. Такое положение дел приводит к увеличению длительности производственного цикла выполнения работ и снижению ритмичности производственного процесса. В конечном итоге, это приводит к снижению качества проводимых работ, выраженных в уменьшении удовлетворенности потребителя, а также к возникновению угрозы срыва сроков выполнения контракта [34-36].

Разберем эти варианты подробнее.

1. Первое событие Р6 (новые сроки проведения работ), приводящее к окончанию производственного процесса в сетевой модели, возникает в результате срабатывания операции t5 (согласование новых сроков проведения работ с воинской частью в случае ее готовности к проведению работ). В этом

случае происходит событие P6 (новые сроки проведения работ) и сетевая модель производственного процесса заканчивается.

2. Второе событие P10 (снятие изделия с ремонта) возникает в результате выполнения операции t10, означающей оформление запроса о снятии изделия полигонного оборудования с план-графика проведения работ. В этом случае возникает переход к окончанию выполнения производственного процесса, то есть сетевая модель заходит в тупик.

3. Третье событие P13 (заводской ремонт) в сетевой модели возникает после операции t12, означающей оформление рекомендаций на проведение ремонта изделия полигонного оборудования в заводских условиях из - за невозможности проведения ремонта на полигоне. В сложившейся ситуации сетевая модель делает переход на событие P22 окончания производственного процесса и заходит в тупик.

4. Четвертое событие P15 (закупка комплектующих) происходит после операции t14, означающей оформление акта о приостановке работ ввиду необходимости закупки комплектующих для ремонта или заводского ремонта составных частей. В этом случае сетевая модель возвращается к событию P5, которое означает написание документов, необходимых для формирования выездной бригады, то есть в сетевой модели возникает циклическая ситуация, что в сетевой модели согласно правилам ее формирования не может возникнуть.

5. Пятое событие P17 (закупка материалов) возникает после операции t16, означающей, что оформлен акт о приостановке работ ввиду необходимости закупки материалов. В этом случае сетевая модель делает возврат к событию P5, то есть формируются документы для выездной бригады. В сетевой модели возникает циклическая ситуация, которой по правилам формирования сетевой модели не может быть.

В итоге, сетевая модель ТООР выявила следующие «узкие места» производственного процесса:

- не должно быть события Р6 (новые сроки проведения работ);
- не должно быть события Р13(заводской ремонт);
- не должно быть события Р10 (снятие изделия с ремонта);
- надо избегать события Р15 (закупка комплектующих);
- надо избегать события Р17 (закупка материалов).

События Р6, Р13, Р10 приводят к нарушению целостности сетевой модели, а события Р15, Р17 приводят к циклическим работам на графе.

Таким образом, возникновение перечисленных выше событий приводит к возврату операций назад или возникновению циклов, что на практике означает затягивание сроков выполнения работ или снижение прибыли предприятия. Поэтому для обеспечения ритмичности функционирования процесса ТООР с минимальной длительностью производственного цикла необходимо избегать возникновения данных событий в сетевой модели процесса. В случае возникновения данных событий, необходимо принимать оперативные организационно-технические решения.

2.2 Определение вероятностных характеристик сетевой модели методом оценки и анализа проектов PERT

Для использования модели (2.1) необходимо определить время выполнения каждой операции в сетевой модели. Время продолжительности операций или продолжительность операции является случайной величиной, так как при выполнении операций могут быть задержки или ускорения при выполнении ремонта, поэтому необходимо рассчитывать три времени выполнения операции:

- оптимистическую (минимальную) оценку операции $t_0(i, j)$, то есть продолжительность операции при ускоренном выполнении работ;

- пессимистическую (максимальную) оценку операции $t_n(i, j)$, то есть продолжительность операции при отставании работы от графика выполнения работ;

- наиболее вероятную (нормальную) оценку $t_{не}(i, j)$, то есть продолжительность операции по плану выполнения работ.

При использовании трех оценок продолжительности операции можно использовать для определения вероятностных характеристик сетевой модели метод PERT (Program (Project) Evaluation and Review Technigue). Этот метод применяется для оценки и анализа проектов, который интенсивно используется в теории управления проектами [37-46].

Любая случайная величина, в исследовании это продолжительность операции $t(i, j)$, характеризуется законом β -распределения и математическим ожиданием и дисперсией.

Вид распределения продолжительности операций показан на рисунке 2.3.

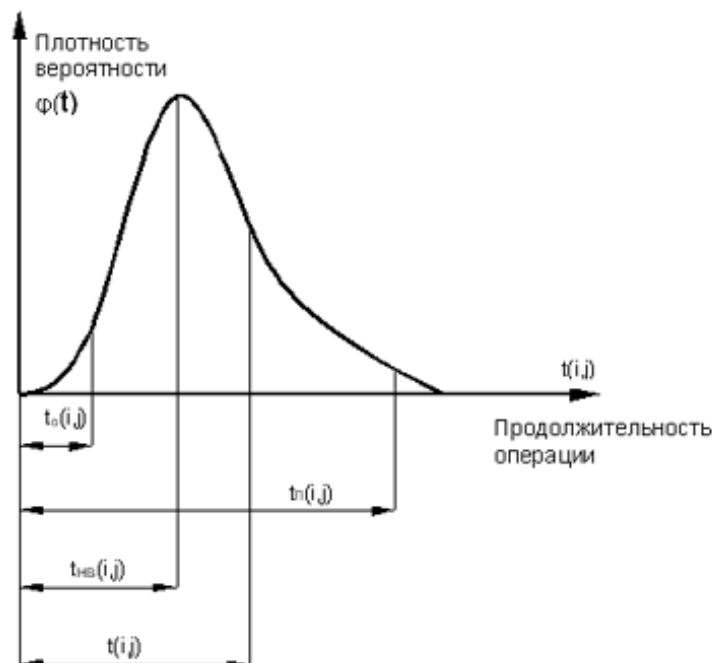


Рисунок 2.3 – Закон распределения продолжительности операции

Математическое ожидание продолжительности операции при β -распределении измеряется по формуле

$$\bar{t}(i, j) = \frac{t_o(i, j) + 4t_{не}(i, j) + t_n(i, j)}{6}, \quad (2.2)$$

где $\bar{t}(i, j)$ – математическое ожидание продолжительности операции; $t_o(i, j)$ – оптимистическая оценка продолжительности операции; $t_{не}(i, j)$ – наиболее вероятностная (рабочая) оценка продолжительности операции; $t_n(i, j)$ – пессимистическая оценка продолжительности операции.

Дисперсию продолжительности операции можно определить по формуле для β -распределения:

$$\sigma^2(i, j) = \left(\frac{t_n(i, j) - t_o(i, j)}{6} \right)^2, \quad (2.3)$$

где $\sigma^2(i, j)$ – дисперсия продолжительности операций; $t_o(i, j)$ – оптимистическая оценка продолжительности операции; $t_n(i, j)$ – пессимистическая оценка продолжительности операции.

Зная математические ожидания операций и дисперсии операций, можно определить временные параметры сетевого графика и провести оценку их надежности. При достаточно большом количестве операций, а в случае процесса технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования имеется такой случай, принадлежащем пути L , применяется центральная предельная теорема, которая проводит зависимость общей продолжительности пути с нормальным законом распределения с математическим ожиданием $\bar{t}(L)$ к сумме математических ожиданий операций, принадлежащих пути L . Данная зависимость соответствует следующей формуле:

$$\bar{t}(L) = \sum_{(i,j)} \bar{t}(i, j),$$

где $\bar{t}(L)$ – математическое ожидания любого, в том числе и критического, пути на сетевой модели; $\bar{t}(i, j)$ – математическое ожидание операции любого, в

том числе и критического, пути на сетевой модели; (i, j) – операция от события I до события j .

Аналогично можно рассчитать дисперсию пути в сетевой модели. Расчет дисперсии рассчитываем по формуле

$$\sigma^2(L) = \sum_{(i,j)} \sigma^2(i, j),$$

где $\sigma^2(L)$ - дисперсия любого, в том числе и критического, пути на сетевой модели, $\sigma^2(i, j)$ - дисперсия операции любого, в том числе и критического, пути на сетевой модели, (i, j) - операция от события I до события j .

Три оценки продолжительности, а также значения математического ожидания и дисперсии по операциям показаны на рисунке 2.4. В столбике «Операции» указаны операции процесса технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования, звездочкой указаны операции критического (оптимизационного) пути, далее идут значения трех продолжительностей операций, затем идут полученные по формулам (2.2) и (2.3) значения математических ожиданий и дисперсий по операциям.

Вероятностный метод (PERT)					
Операция	Оценка продолжительности операции			Ожидание продолжительности	Дисперсия продолжительности
	Оптимистическая	Наиболее вероятная	Пессимистическая		
t1*	3	4	6	4	0,25
t2*	4	5	7	5	0,25
t3*	7	9	12	9	0,69
t4*	6	7	10	7	0,44
t5	7	9	11	9	0,44
t6*	5	6	7	6	0,11
t7*	6	7	10	7	0,44
t8	3	4	5	4	0,11
t9*	2	4	6	4	0,44
t10	5	6	9	6	0,44
t11*	3	4	6	4	0,25
t12	3	4	6	4	0,25
t13*	4	5	7	5	0,25
t14	7	9	12	9	0,69
t15*	6	7	10	7	0,44
t16	7	9	11	9	0,44
t17*	5	6	7	6	0,11
t18*	6	7	10	7	0,44
t19*	3	4	5	4	0,11
t20*	2	4	6	4	0,44
t21*	5	6	9	6	0,44

Рисунок 2.4 – Данные по оценкам продолжительности операций с расчетом математического ожидания и дисперсии

Расчет этих вероятностных характеристик был произведен по формулам на рисунке 2.5.

2	A	B	C	D	E		F
					Оценка продолжительности операции		
3	Операция	Оптимистиче	Наибол ее	Пессим истиче	Ожидание продолжительности		Дисперсия продолжительности
4	t1*	3	4	6	=(B4+4*C4+D4)/6		=(D4-B4)*(D4-B4)/36
5	t2*	4	5	7	=(B5+4*C5+D5)/6		=(D5-B5)*(D5-B5)/36
6	t3*	7	9	12	=(B6+4*C6+D6)/6		=(D6-B6)*(D6-B6)/36
7	t4*	6	7	10	=(B7+4*C7+D7)/6		=(D7-B7)*(D7-B7)/36
8	t5*	7	9	11	=(B8+4*C8+D8)/6		=(D8-B8)*(D8-B8)/36
9	t6*	5	6	7	=(B9+4*C9+D9)/6		=(D9-B9)*(D9-B9)/36
10	t7*	6	7	10	=(B10+4*C10+D10)/6		=(D10-B10)*(D10-B10)/36
11	t8	3	4	5	=(B11+4*C11+D11)/6		=(D11-B11)*(D11-B11)/36
12	t9*	2	4	6	=(B12+4*C12+D12)/6		=(D12-B12)*(D12-B12)/36
13	t10	5	6	9	=(B13+4*C13+D13)/6		=(D13-B13)*(D13-B13)/36
14	t11*	3	4	6	=(B14+4*C14+D14)/6		=(D14-B14)*(D14-B14)/36
15	t12	3	4	6	=(B15+4*C15+D15)/6		=(D15-B15)*(D15-B15)/36
16	t13*	4	5	7	=(B16+4*C16+D16)/6		=(D16-B16)*(D16-B16)/36
17	t14	7	9	12	=(B17+4*C17+D17)/6		=(D17-B17)*(D17-B17)/36
18	t15*	6	7	10	=(B18+4*C18+D18)/6		=(D18-B18)*(D18-B18)/36
19	t16	7	9	11	=(B19+4*C19+D19)/6		=(D19-B19)*(D19-B19)/36
20	t17*	5	6	7	=(B20+4*C20+D20)/6		=(D20-B20)*(D20-B20)/36
21	t18*	6	7	10	=(B21+4*C21+D21)/6		=(D21-B21)*(D21-B21)/36
22	t19*	3	4	5	=(B22+4*C22+D22)/6		=(D22-B22)*(D22-B22)/36
23	t20*	2	4	6	=(B23+4*C23+D23)/6		=(D23-B23)*(D23-B23)/36
24	t21*	5	6	9	=(B24+4*C24+D24)/6		=(D24-B24)*(D24-B24)/36

Рисунок 2.5 – Расчет вероятностных характеристик сетевой модели для плана-графика процесса технического обслуживания и ремонта

Расчет математического ожидания критического пути, соответствующего оптимизационной сетевой модели рисунка 2.2, показан на рисунке 2.6.

Операция	Оценка продолжительности операции				Ожидание продолжительности	Дисперсия продолжительности
	Оптимистическая	Наиболее вероятная	Пессимистическая			
t1*	3	4	6	4	0,25	
t2*	4	5	7	5	0,25	
t3*	7	9	12	9	0,69	
t4*	6	7	10	7	0,44	
t5*	7	9	11	9	0,44	
t6*	5	6	7	6	0,11	
t7*	6	7	10	7	0,44	
t8	3	4	5	4	0,11	
t9*	2	4	6	4	0,44	
t10	5	6	9	6	0,44	
t11*	3	4	6	4	0,25	
t12	3	4	6	4	0,25	
t13*	4	5	7	5	0,25	
t14	7	9	12	9	0,69	
t15*	6	7	10	7	0,44	
t16	7	9	11	9	0,44	
t17*	5	6	7	6	0,11	
t18*	6	7	10	7	0,44	
t19*	3	4	5	4	0,11	
t20*	2	4	6	4	0,44	
t21*	5	6	9	6	0,44	
Математическое ожидание продолжительности критического пути					88	
Дисперсия продолжительности критического пути					5,14	
Директивный срок выполнения проекта, дней					83	
Нормированное отклонение случайной величины Z					-1,99	
Вероятность выполнения проекта в директивный срок					0,02	
Надежность выполнения проекта $p=\Phi(Zp)$					0,98	
Нормированное отклонение случайной величины Zp					2,05	
Максимально возможный срок выполнения проекта с надежностью p					92,16	

Рисунок 2.6 – Расчет всех вероятностных характеристик сетевой модели (в виде данных)

На рисунке 2.6 видно, что в среднем процесс технического обслуживания и ремонта по конкретному изделию занимает 88 часов. Отклонение может составить 5 часов.

Расчет математического ожидания критического пути, соответствующего оптимизационной сетевой модели с рисунка 2.2, в виде формул показан на рисунке 2.7.

	A	B	C	D	E	F
2					Оценка продолжительности операции	
3	Операция	Оптимистиче	Наиболее	Пессимистичес	Ожидание продолжительности	Дисперсия продолжительности
4	t1*	3	4	6	$=(B4+4*C4+D4)/6$	$=(D4-B4)*(D4-B4)/36$
5	t2*	4	5	7	$=(B5+4*C5+D5)/6$	$=(D5-B5)*(D5-B5)/36$
6	t3*	7	9	12	$=(B6+4*C6+D6)/6$	$=(D6-B6)*(D6-B6)/36$
7	t4*	6	7	10	$=(B7+4*C7+D7)/6$	$=(D7-B7)*(D7-B7)/36$
8	t5	7	9	11	$=(B8+4*C8+D8)/6$	$=(D8-B8)*(D8-B8)/36$
9	t6*	5	6	7	$=(B9+4*C9+D9)/6$	$=(D9-B9)*(D9-B9)/36$
10	t7*	6	7	10	$=(B10+4*C10+D10)/6$	$=(D10-B10)*(D10-B10)/36$
11	t8	3	4	5	$=(B11+4*C11+D11)/6$	$=(D11-B11)*(D11-B11)/36$
12	t9*	2	4	6	$=(B12+4*C12+D12)/6$	$=(D12-B12)*(D12-B12)/36$
13	t10	5	6	9	$=(B13+4*C13+D13)/6$	$=(D13-B13)*(D13-B13)/36$
14	t11*	3	4	6	$=(B14+4*C14+D14)/6$	$=(D14-B14)*(D14-B14)/36$
15	t12	3	4	6	$=(B15+4*C15+D15)/6$	$=(D15-B15)*(D15-B15)/36$
16	t13*	4	5	7	$=(B16+4*C16+D16)/6$	$=(D16-B16)*(D16-B16)/36$
17	t14	7	9	12	$=(B17+4*C17+D17)/6$	$=(D17-B17)*(D17-B17)/36$
18	t15*	6	7	10	$=(B18+4*C18+D18)/6$	$=(D18-B18)*(D18-B18)/36$
19	t16	7	9	11	$=(B19+4*C19+D19)/6$	$=(D19-B19)*(D19-B19)/36$
20	t17*	5	6	7	$=(B20+4*C20+D20)/6$	$=(D20-B20)*(D20-B20)/36$
21	t18*	6	7	10	$=(B21+4*C21+D21)/6$	$=(D21-B21)*(D21-B21)/36$
22	t19*	3	4	5	$=(B22+4*C22+D22)/6$	$=(D22-B22)*(D22-B22)/36$
23	t20*	2	4	6	$=(B23+4*C23+D23)/6$	$=(D23-B23)*(D23-B23)/36$
24	t21*	5	6	9	$=(B24+4*C24+D24)/6$	$=(D24-B24)*(D24-B24)/36$
25	Математическое ожидание продолжительности критического пути				$=E4+E5+E6+E7+E9+E10+E12+E14+E16+E18+$	
26	Дисперсия продолжительности критического пути				$=F4+F5+F6+F7+F9+F10+F12+F14+F16+F18+F$	
27	Директивный срок выполнения проекта, дней				=88+3	
28	Нормированное отклонение случайной величины Z				$=(F27-F25)/КОРЕНЬ(F26)$	
29	Вероятность выполнения проекта в директивный срок				=НОРМСТРАСП(F28)	
30	Надежность выполнения проекта $p=\Phi(Zp)$				0,98	
31	Нормированное отклонение случайной величины Zp				=НОРМСТОБР(F30)	
32	Максимально возможный срок выполнения проекта с надежностью p				$=F25+F31*КОРЕНЬ(F26)$	

Рисунок 2.7 – Расчет всех вероятностных характеристик сетевой модели (в виде формул)

В каждом конкретном проекте возможны отклонения продолжительности критического пути от средних величин из-за срывов или перевыполнения работ, причем чем больше суммарная дисперсия по операциям, тем более значительны отклонения.

Поэтому очень важна при оценке и прогнозировании план-графика работ процесса технического обслуживания и ремонта оценка вероятности того, что выполнения проекта не превысит заданного директивного срока T.

Введя значение $t_{кр}$ – продолжительности критического (оптимизационного) пути и полагая, что это значение тоже случайная величина с нормальным законом распределения, можно рассчитать вероятность выполнения проекта по обслуживанию и ремонту полигонного оборудования в директивный срок по формуле

$$P(t_{кр} \leq T) = (1/2) + (1/2) * \Phi\left(\frac{T - \bar{t}_{кр}}{\sigma_{кр}}\right),$$

где $P(t_{кр} \leq T)$ – вероятность попадания проекта по ремонту и обслуживанию полигонного оборудования в директивный срок, указанный заказчиком; $\Phi\left(\frac{T - \bar{t}_{кр}}{\sigma_{кр}}\right)$ – интеграл вероятностей Лапласа; $\bar{t}_{кр}$ – математическое ожидание критического пути; $\sigma_{кр}$ – дисперсия критического пути, рассчитанная по формуле $\sigma_{кр} = \sqrt{\sigma_{кр}^2}$; T – директивный срок.

Интеграл вероятностей Лапласа имеет следующую геометрическую интерпретацию, показанную на рисунке 2.8.

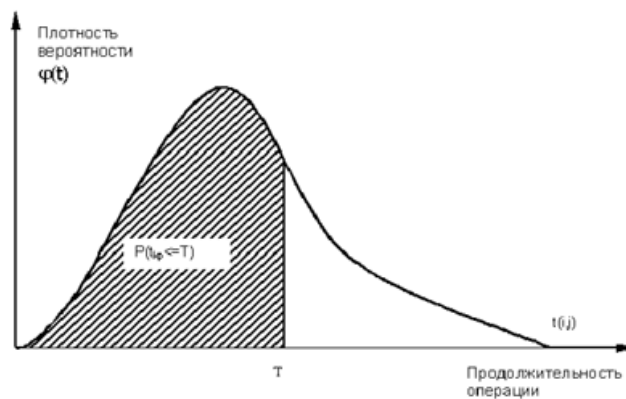


Рисунок 2.8 – Графический вид интеграла Лапласа

Если величина P мала, то есть $P \leq 0,5$ (менее 50 % (вероятность выполнение проекта по обслуживанию и ремонту в срок), то обслуживание и ремонт данного изделия не будет произведен в директивный срок. Директивный срок – это срок, установленный заказчиком. Если $0,5 \leq P < 0,6$, то для вы-

полнения проекта по обслуживанию и ремонту полигонного оборудования требуется проведение дополнительных организационно-технических мероприятий, например, привлечение к ремонту специалистов с максимальной квалификацией или использование инновационных методик при ремонте. Если $P > 0,6$, то обслуживание и ремонт полигонного оборудования будет выполнен в срок.

Для сетевой модели рисунка 2.2 оцениваем вероятность выполнения работ за 83 часа, вероятность выполнения работ составит 0,02, то есть вероятность выполнения ремонта 2%, значит, выполнить ремонт полигонного оборудования в данный срок не представляется возможным. Расчет данной вероятности представлен на рисунке 2.6 в режиме данных и на рисунке 2.7 в режиме формул.

Чтобы выполнить проект в срок подставляем значение 91 час, тогда вероятность выполнения проекта по ремонту полигонного оборудования составит 0,94, то есть 94 %, и ремонт будет сделать в сроки, представленные заказчиком. Вариант этого расчета приведен на рисунке 2.9.

Операция	Оценка продолжительности операции					
	Оптимистическая	Наиболее вероятная	Пессимистическая	Ожидание продолжительности	Дисперсия продолжительности	
t1*	3	4	6	4	0,25	
t2*	4	5	7	5	0,25	
t3*	7	9	12	9	0,69	
t4*	6	7	10	7	0,44	
t5	7	9	11	9	0,44	
t6*	5	6	7	6	0,11	
t7*	6	7	10	7	0,44	
t8	3	4	5	4	0,11	
t9*	2	4	6	4	0,44	
t10	5	6	9	6	0,44	
t11*	3	4	6	4	0,25	
t12	3	4	6	4	0,25	
t13*	4	5	7	5	0,25	
t14	7	9	12	9	0,69	
t15*	6	7	10	7	0,44	
t16	7	9	11	9	0,44	
t17*	5	6	7	6	0,11	
t18*	6	7	10	7	0,44	
t19*	3	4	5	4	0,11	
t20*	2	4	6	4	0,44	
t21*	5	6	9	6	0,44	
Математическое ожидание продолжительности критического пути						88
Дисперсия продолжительности критического пути						5,14
Директивный срок выполнения проекта, дней						91
Нормированное отклонение случайной величины Z						1,54
Вероятность выполнения проекта в директивный срок						0,94
Надежность выполнения проекта $p = \Phi(Zp)$						0,98
Нормированное отклонение случайной величины Zp						2,05
Максимально возможный срок выполнения проекта с надежностью p						92,16

Рисунок 2.9 – Расчет вероятности выполнения проекта в установленные заказчиком сроки (режим данных)

Можно выполнить и решение обратной задачи, то есть определить срок выполнения проекта с определенной надежностью p . Для этого надо использовать обратную для интеграла Лапласа формулу. В этом случае расчет будет производиться по формуле

$$T = \overline{t_{кр}} + Z_p * \sigma_{кр},$$

где T – величина директивного срока выполнения проекта с заданной надежностью p – заданная надежность выполнения проекта, $\overline{t_{кр}}$ – математическое ожидание критического пути; Z_p – нормированное отклонение случайной величины, определяемое с помощью функции Лапласа по специальной таблице.

Расчет директивного срока с заданной надежностью выполнения работ по сетевой модели рисунка 2.2 приведен на рисунке 2.9 в графе «максимально возможный срок выполнения работ с заданной надежностью». Он составляет 92 часа для конкретного ремонта с надежностью 98 %. На рисунке 2.9 сформированы данные по расчету директивного срока в режиме данных и на рисунке 2.7 приведен режим формул.

2.3 Выводы по главе

В главе 2 показан подход к формированию математической модели ТОиР ПО на основе сетевого моделирования.

В этой главе также рассмотрено применение метода PERT для нахождения вероятностных характеристик сетевой модели для прогнозирования процесса технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования.

3 МЕТОД НАСТРОЙКИ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА, ОСНОВАННЫЙ НА КОЭФФИЦИЕНТЕ ПОЛОМОК ПОЛИГОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

3.1 Разработка необходимого и достаточного условия проведения технического обслуживания и ремонта на основе мониторинга технического состояния полигонного оборудования

Как уже говорилось ранее, обслуживание и ремонт полигонного оборудования относятся к единичному типу производства, основным календарно-плановым нормативом которого является длительность производственного цикла выполнения работ. При этом длительность данного показателя достигается за счет эффективного оперативно-производственного планирования, то есть динамика (мониторинг) длительности производственного цикла является одним из показателей эффективности процесса планирования.

Для обеспечения минимальной длительности производственного процесса ТОиР ПО с использованием сетевой модели сформируем задачу проведения ТОиР на полигоне. Данная задача относится к классу оптимизационных [47-59].

В общем виде задача поиска оптимального решения для проведения ТОиР на полигоне заключается в нахождении целевой функции и ее минимизации с учетом функциональных и количественных ограничений. Таким образом, для постановки задачи необходимы два элемента:

- 1) целевая функция $G(t)$ – коэффициент поломок изделий полигонного оборудования за период времени t ;
- 2) набор ограничений, составляющий необходимое и достаточное условие проведения ТОиР на полигоне.

Для осуществления мониторинга технического состояния полигонного оборудования вводится сбор данных о техническом состоянии имеющихся изделий с учетом коэффициента поломок изделий.

Рассмотрим виды полигонного оборудования, применяемые в местах эксплуатации.

К изделию 1 отнесем унифицированную мишенную установку УМУ-С-*, которая предназначена для подъема легких мишеней.

Состав:

- установка для подъема средних мишеней;
- лампа имитации;
- датчик инерционный;
- кабель со струбцинами;
- рама мишенной установки;
- шина заземляющая;
- подсветка мишенная;
- антенна мишенной установки;
- комплект ЗИП одиночный.

К тактико-техническим характеристикам относятся:

- номинальное напряжение питания;
- частота радиосигнала;
- управление установкой;
- дальность устойчивого контроля и управления;
- время подъема/опускания мишени;
- средняя наработка на отказ;
- потребляемая мощность;
- габаритные размеры;
- масса.

К изделию 2 отнесем унифицированную мишенную установку УМУ-Т1-*, которая предназначена для подъема (показа) и опускания (скрытия) тяжелых мишеней.

Состав:

- установка для подъема тяжелых мишеней;

- антенна мишенной установки;
- рама мишенной установки;
- лампа имитации;
- подсветка мишенная;
- подсветка мишенная инфракрасная;
- датчик инерционный;
- кабель со струбцинами;
- шина заземляющая;
- комплект монтажных частей;
- комплект ЗИП одиночный.

К тактико-техническим характеристикам относятся:

- номинальное напряжение питания;
- частота радиосигнала;
- управление установкой;
- дальность устойчивого контроля и управления;
- время подъема мишени;
- время опускания мишени;
- средняя наработка на отказ;
- потребляемая мощность;
- габаритные размеры;
- масса.

К изделию 3 отнесем пульт управления ПУ – *, который предназначен для оперативного создания и управления мишенной установкой.

Состав:

- ноутбук с установленной лицензионной оперативной системой;
- манипулятор «мышь»;
- диск с программным обеспечением;
- антенна пульта управления;
- кабели;

- блок модемный;
- комплект ЗИП одиночный.

К тактико-техническим характеристикам относятся:

- источник питания;
- частота радиосигнала;
- дальность устойчивого контроля и управления;
- максимальная длительность программы;
- управление мишенным оборудованием;
- минимальная площадь размещения.

К изделию 4 отнесем установку для подъема мишени зависающего вертолета УПМВ-*, предназначенную для подъема мишени вертолета и использующуюся при стрельбе по воздушной цели из разных видов оружия.

Обеспечивает:

- управление подъемом и опусканием мишени;
- выдачу информации на пульт управления;
- надежную фиксацию мачты установки в верхнем или нижнем положениях.

К тактико-техническим характеристикам относятся:

- источник питания;
- потребляемая мощность;
- время подъема/опускания мишени;
- высоту подъема по нижнему срезу мишени;
- масса установки без мишени;
- габаритные размеры установки;
- тип мишени.

К изделию 5 отнесем установку для подъема средних мишеней с подключенным автоматом-имитатором АИ-*.

К изделию 6 отнесем установку движущейся мишени УДМ – *; УДМ-*-* , предназначенную для перемещения с помощью каната по железнодорожному пути с определенной скоростью одной или трех тележек с мишенями.

Обеспечивает:

- управление мишенными установками с пульта управления в автоматическом режиме по заранее подготовленной программе и ручном режиме с автоматическим подъемом и опусканием мишеней;
- местное управление движением тележки с автоматическим подъемом и опусканием мишеней с электрощита;
- настройку параметров установок для подъема мишеней с пульта управления по радиоканалу.
- автоматическое формирование сигналов о подъеме и опускании щитов мишеней;
- формирование сигнала о поражении мишени;
- защиту изделия путем аварийного отключения напряжения питания электродвигателя.

К тактико-техническим характеристикам относятся:

- источник питания;
- потребляемая мощность;
- скорость перемещения тележек (одной или трех);
- тормозной путь;
- ширина колеи тележки.

К изделию 7 отнесем радиоуправляемое переносное стрельбищное оборудование ПСО-Р, предназначенное для оперативного создания дистанционно управляемой мишенной обстановки на неподготовленной в инженерном отношении местности из десятков установок.

Обеспечивает:

- создание множественных направлений стрельбы;
- создание, хранение и редактирование программ управления мишенными установками и другим радиоуправляемым полигонным оборудованием;
- создание, хранение и редактирование мишенной обстановки;
- создание, хранение и редактирование данных по сотрудникам;

- контроль над состоянием мишенных установок и другого полигонного оборудование, отображает наличие связи со всеми радиоуправляемыми изделиями, задействованными в выполнении программы;

- отображает состояние задействованного оборудования на экране монитора.

К изделию 8 отнесем установку для движения двух легких мишеней ДМШ–*, предназначенную для перемещения легких мишеней при обучении войск стрельбе по движущимся целям.

Обеспечивает:

- управление по радиоканалу мишенными установками и тележкой с электрошита по командам с пульта управления в автоматическом режиме по заранее подготовленной программе и в ручном режиме с автоматическим подъемом и опусканием мишеней вперед и назад с остановками на произвольных участках пути в зоне, ограниченной концевыми выключателями;

- настройку параметров установки.

К изделию 9 отнесем ротный тактический комплект РТК–*, предназначенный для создания дистанционно управляемой обстановки на реальной местности при проведении тактических учений с боевой стрельбой с применением световой имитации стрельбы и подрыва пиротехнических средств в дневных и ночных условиях в любое время года.

Обеспечивает:

- создание на местности необходимой мишенной обстановки и имитацию пиротехническими средствами огня противника в соответствии с замыслом учений;

- управление с подвижного пункта управления как с места, так и в движении;

- создание мишенной обстановки для проведения всевозможных учений;

- развертывание мишенной обстановки на неподготовленной местности в любое время года и в сжатые сроки.

Данный комплект состоит из шести тяжелых установок и 80 маленьких, а также из дополнительного оборудования для управления.

Анализ полигонного оборудования показывает, что данный вид оборудования относится к сложным техническим изделиям. Данные изделия являются сложными на этапе конструкторско-технологической подготовки производства, но также из их предназначения и тактико-технических характеристик видно, что и процесс обслуживания и ремонта таких изделий представляет сложную, итерационную процедуру.

Проведение восстановительных операций на необорудованных площадях воинских частей – зачастую индивидуальный процесс в каждом конкретном случае. Отсутствие на местах не только специализированного оборудования, но и элементарных бытовых инструментов, таких как молотки, отвертки и прочее, вынуждает оснащать ремонтные бригады всем перечнем необходимого оборудования. Исходя из имеющихся реалий и вследствие удаления полигонов, нет возможности использовать служебный автомобильный транспорт, и командированные бригады вынуждены использовать самолеты, ж/д поезда как средство передвижения и установки инструментов и оборудования. Часто случаются простои бригад, связанные с ожиданием недостающего оборудования либо комплектующих, что вносит свои коррективы в процесс организации выездных работ и штат сотрудников.

Из рабочей статистики предприятия можно сделать вывод, что вызовы ремонтных бригад воинскими частями не сопровождается конкретной информацией о поломках из-за отсутствия специалистов на самих полигонах, способных грамотно диагностировать неполадки. Возникает высокая неопределенность характера поломок и предварительных причин отказа, что также заставляет избыточно комплектовать бригаду специалистами и оборудованием. В свою очередь, процесс планирования технического обслуживания и ре-

монта полигонного оборудования в местах базирования становится максимально хаотичным [60-68].

Перечисленные проблемы приводят к отсутствию понимания временных норм, которые закладываются на работы, нарушениям ритмичности производственных циклов и срывам сроков. Кроме всего перечисленного, предприятие обременяется существенными экономическими издержками. Углубленное изучение данного вопроса показало, что методики, применяемые в управлении оценкой качества, не дают желаемого результата в прогнозировании, а также в системном отслеживании хода выполнения работ. Применение коэффициента, представляющего собой функциональную зависимость от основных параметров: времени выполнения ТОиР; состава бригад; квалификации персонала – затрудняет получение значения аналитическим путем. По этой причине для оценки качества процесса ТОиР полигонного оборудования в местах базирования был введен коэффициент, показывающий степень поломок по конкретному изделию за определенный промежуток времени,

$$G_n(t) = \frac{F_n(t)}{M_n(t)},$$

где $G_n(t)$ – коэффициент поломок на изделие n-го типа; $F_n(t)$ – претензии к изделию n-го типа за взятый период; $M_n(t)$ – общее количество изделий n-го типа, получаемых сервисное обслуживание за взятый период.

Имеется обратная зависимость количества претензий $F_n(t)$ от общего количества изделий $M_n(t)$ и задач мероприятий, направленных на улучшение процесса, является минимизации данного коэффициента $G_n(t)$.

Анализируя имеющуюся статистику предприятия, занимающегося ТОиР в местах проведения учений в различных регионах, можно составить таблицу коэффициентов поломок первых двух изделий, разбитую по кварталам, и сравнить между собой (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Соотношение претензий к количеству изделий 1 и 2 типов

Коэффициенты поломок	1-й квартал	2-й квартал	3-й квартал	4-й квартал	Среднее значение коэффициента
$G_1(t)$ изделие №1	0,12	0,55	0,29	0,33	0,32
$G_2(t)$ изделие №2	0,25	0,21	0,17	0,3	0,23

Визуализация представленных данных в виде диаграммы на рисунке 3.1 позволяет наглядно отследить частоту выполнения работ ТОиР полигонного оборудования в местах базирования по изделию 1 и 2, что, в свою очередь, положительно скажется на возможности более детального прогноза работы планового отдела и, как следствие, на ритмичности производственного цикла, на эффективном подборе специалистов и возможности аналитического выявления причин простоя бригад.

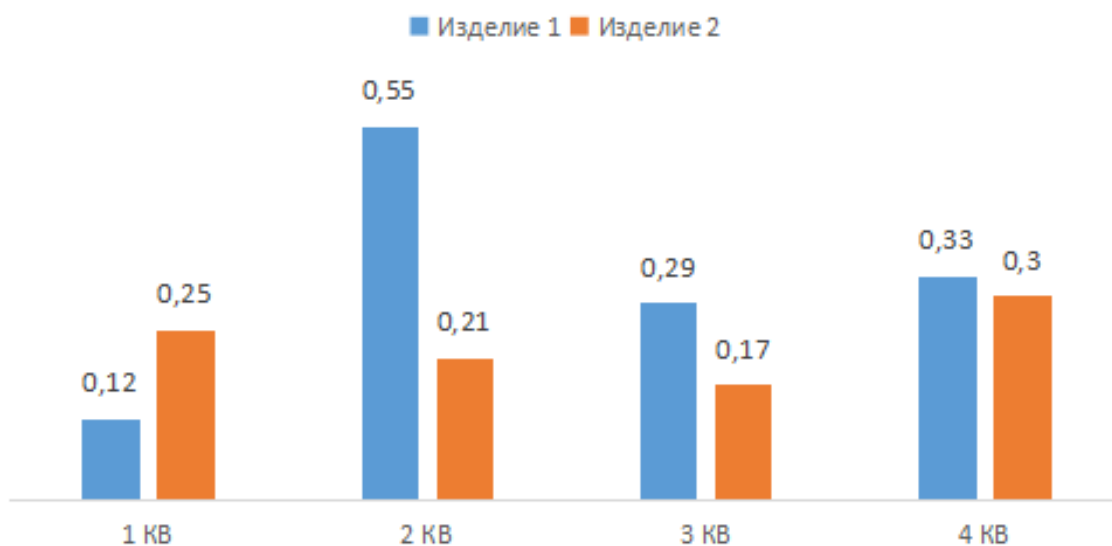


Рисунок 3.1 – Сравнение динамики поломок двух изделий (изделие 1 и 2) по кварталам

Сопоставляя два средних коэффициента поломок за год (рисунок 3.2), можно провести дополнительный анализ эффективности организации по вы-

полнению ремонтных работ отдельно взятого изделия, на основе которого принимать управленческие решения руководству предприятия.

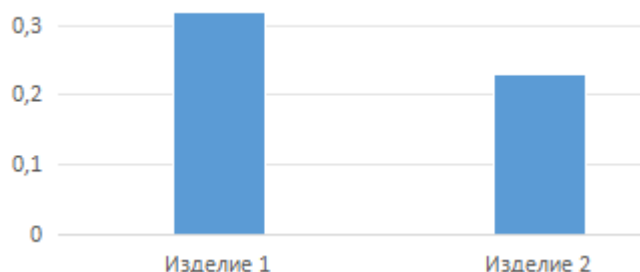


Рисунок 3.2 – Результаты средних коэффициентов поломок $G_n(t)$ по изделиям 1 и 2

Анализируя имеющуюся статистику предприятия, занимающегося ТОиР в местах проведения учений в различных регионах, можно составить таблицу коэффициентов поломок изделий 3 и 4, разбитую по кварталам, и сравнить между собой (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Соотношение претензий к количеству изделий 3-го и 4-го типов

Коэффициенты поломок	1-й квартал	2-й квартал	3-й квартал	4-й квартал	Среднее значение коэффициента
$G_3(t)$ изделие №3	0,12	0,13	0,11	0,5	0,22
$G_4(t)$ изделие №4	0,25	0,21	0,21	0,20	0,22

Визуализация представленных данных в виде диаграммы на рисунке 3.3 позволяет наглядно отследить частоту выполнения работ ТОиР полигонного оборудования в местах базирования по изделию 3 и 4.

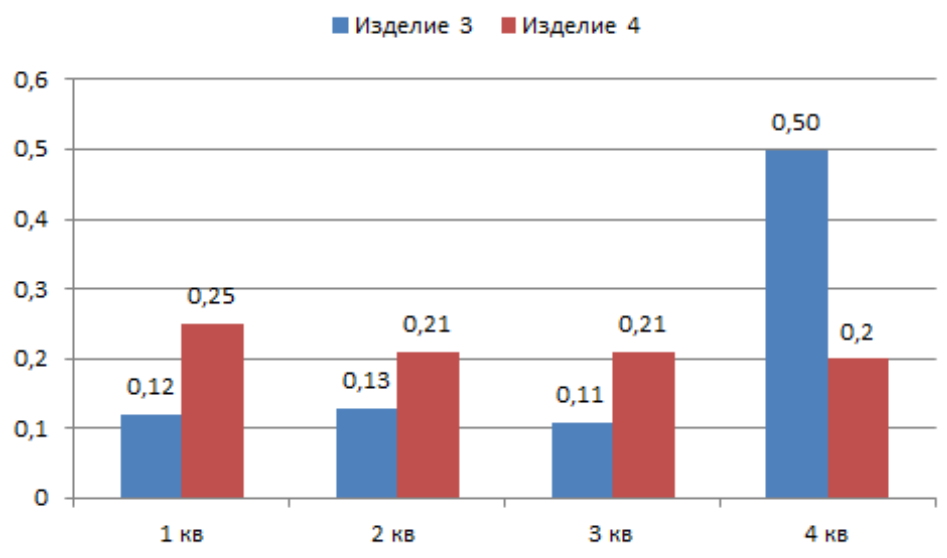


Рисунок 3.3 – Сравнение динамики поломок изделий 3 и 4 по кварталам

Сопоставляя два средних коэффициента поломок за год (рисунок 3.4), можно провести дополнительный анализ эффективности организации по выполнению ремонтных работ отдельно взятого изделия, на основе которого принимать управленческие решения руководству предприятия.

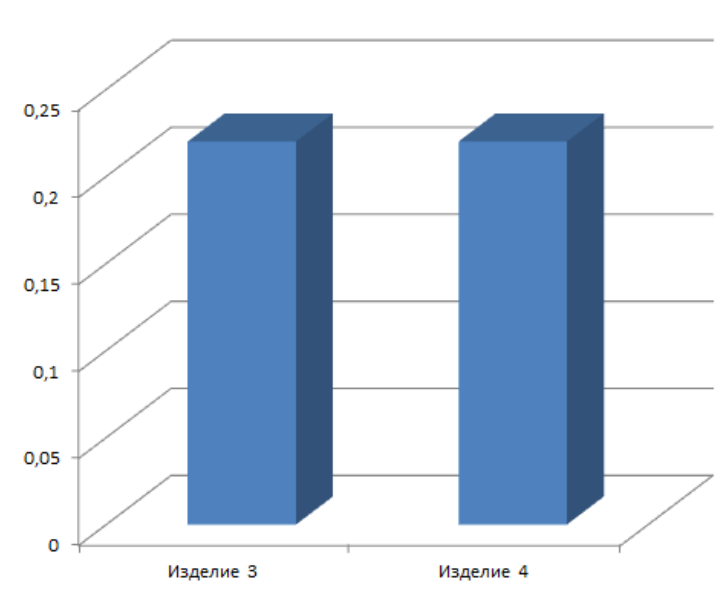


Рисунок 3.4 – Результаты средних коэффициентов поломок $G_n(t)$ по изделиям 3 и 4

Анализируя имеющуюся статистику предприятия, занимающегося ТОиР в местах проведения учений в различных регионах, можно составить таблицу коэффициентов поломок изделий 5 и 6, разбитую по кварталам, и сравнить между собой (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Соотношение претензий к количеству изделий 5 и 6

Коэффициенты поломок	1-й квартал	2-й квартал	3-й квартал	4-й квартал	Среднее значение коэффициента
$G_5(t)$ изделие №5	0,30	0,28	0,32	0,23	0,28
$G_6(t)$ изделие №6	0,15	0,21	0,17	0,14	0,17

Визуализация представленных данных в виде диаграммы на рисунке 3.5 позволяет наглядно отследить частоту выполнения работ ТОиР полигонного оборудования в местах базирования по каждому изделию, что, в свою очередь, положительно скажется на возможности более детального прогноза работы планового отдела и, как следствие, на ритмичности производственного цикла, на эффективном подборе специалистов и возможности аналитического выявления причин простоя бригад.

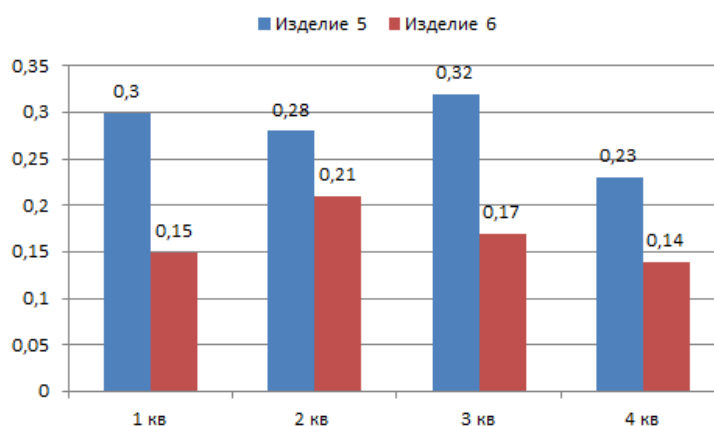


Рисунок 3.5 – Сравнение динамики поломок изделий 5 и 6 по кварталам

Сопоставляя два средних коэффициента поломок за год (рисунок 3.6), можно провести дополнительный анализ эффективности организации по выполнению ремонтных работ отдельно взятого изделия, на основе которого принимать управленческие решения руководству предприятия.

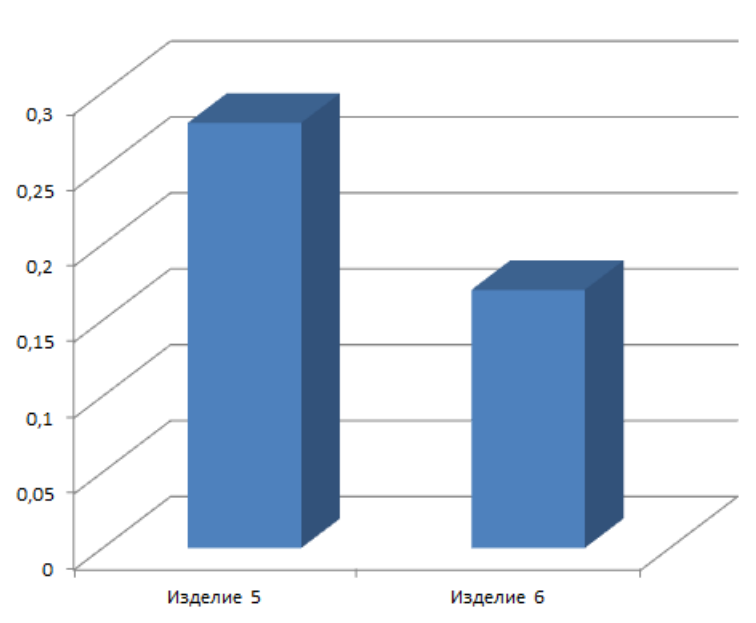


Рисунок 3.6 – Результаты средних коэффициентов поломок $G_n(t)$ по изделиям 5 и 6

Анализируя имеющуюся статистику предприятия, занимающегося ТОиР в местах проведения учений в различных регионах, можно составить таблицу коэффициентов поломок первых двух изделий, разбитую по кварталам, и сравнить между собой (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Соотношение претензий к количеству изделий 7 и 8

Коэффициенты поломок	1-й квартал	2-й квартал	3-й квартал	4-й квартал	Среднее значение коэффициента
$G_7(t)$ изделие №7	0,44	0,38	0,29	0,33	0,36
$G_8(t)$ изделие №8	0,25	0,21	0,17	0,3	0,23

Визуализация представленных данных в виде диаграммы на рисунке 3.7 позволяет наглядно отследить частоту выполнения работ ТОиР полигонного оборудования в местах базирования по изделию 7 и 8, что, в свою очередь, положительно скажется на возможности более детального прогноза работы планового отдела и, как следствие, на ритмичности производственного цикла, на эффективном подборе специалистов и возможности аналитического выявления причин простоя бригад.

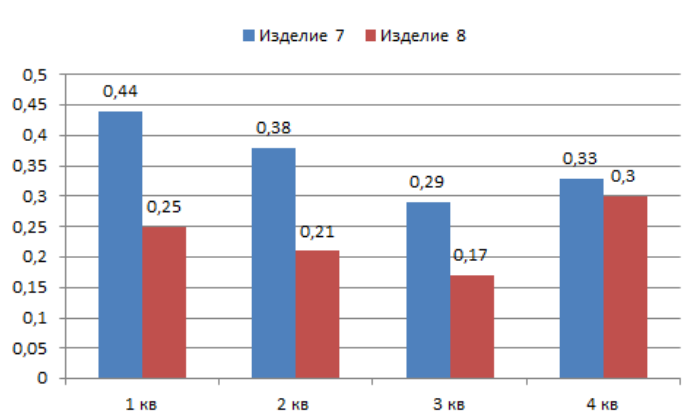


Рисунок 3.7 – Сравнение динамики поломок изделий 7 и 8 по кварталам

Сопоставляя два средних коэффициента поломок за год (рисунок 3.8), можно провести дополнительный анализ эффективности организации по выполнению ремонтных работ отдельно взятого изделия, на основе которого принимать управленческие решения руководству предприятия.

Использование предлагаемого коэффициента направлено, в первую очередь, на повышение уровня систематизации процесса ТОиР полигонного оборудования в местах базирования, а также на улучшение качества в методике прогнозирования сроков работ и их длительности, на более детальное отслеживание эффективности подбора выездных бригад.

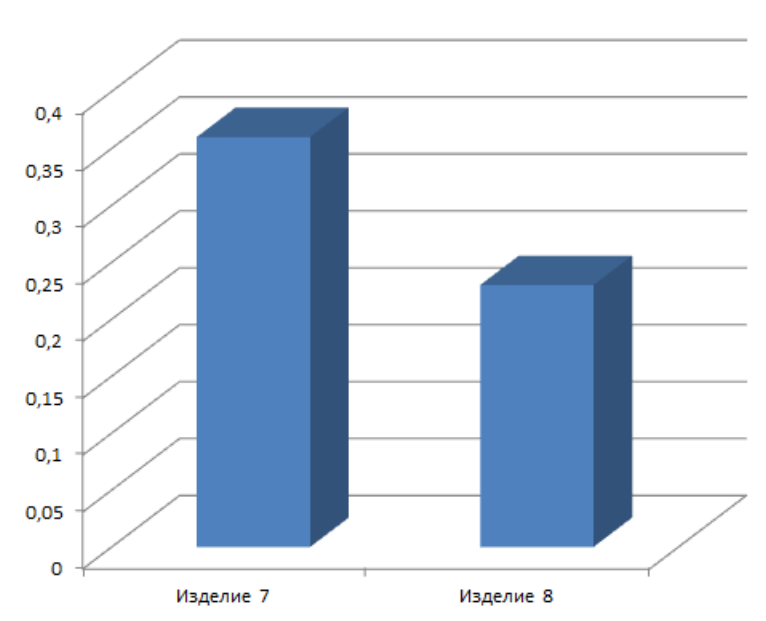


Рисунок 3.8 – Результаты средних коэффициентов поломок $G_n(t)$ для изделий 7 и 8

Изделие 9 является в анализе самым сложным, оно состоит из 80 мишеней, поэтому значение коэффициента поломок у него максимальное и частота ремонта выходит за среднестатистические значения.

Анализируя имеющуюся статистику предприятия, занимающегося ТОиР в местах проведения учений в различных регионах, можно составить таблицу коэффициентов поломок изделия 9, разбитую по кварталам (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Соотношение претензий к количеству изделий 9

Коэффициенты поломок	1-й квартал	2-й квартал	3-й квартал	4-й квартал	Среднее значение коэффициента
$G_9(t)$ изделие №9	0,44	0,55	0,43	0,33	0,44

Визуализация представленных данных в виде диаграммы на рисунке 3.9 позволяет наглядно отследить частоту выполнения работ ТОиР полигонного оборудования в местах базирования по изделию 9, что, в свою очередь, поло-

жительно скажется на возможности более детального прогноза работы планового отдела и, как следствие, на ритмичности производственного цикла, на эффективном подборе специалистов и возможности аналитического выявления причин простоя бригад.

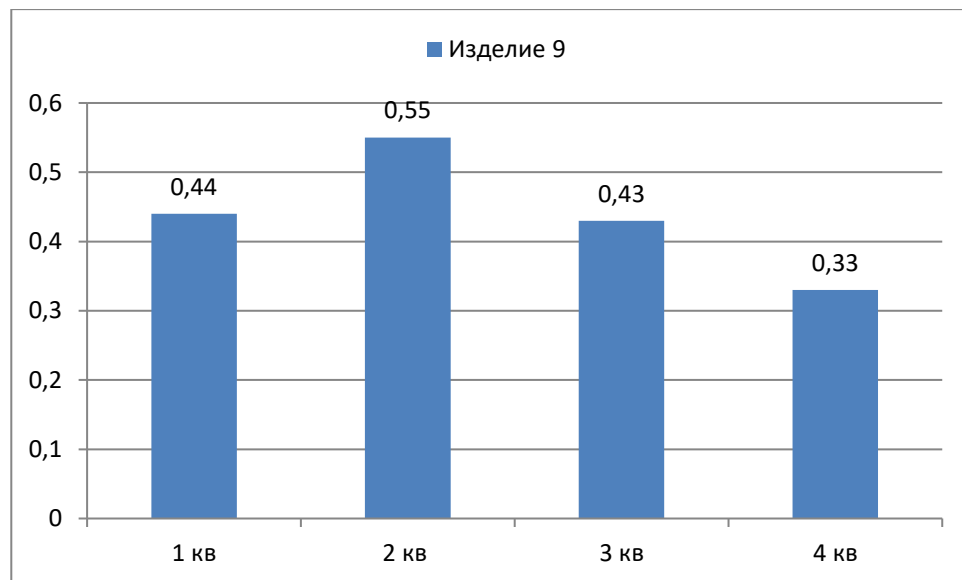


Рисунок 3.9 – Динамика поломок изделия 9 по кварталам

Сопоставляя средние коэффициенты поломок за год, можно провести дополнительный анализ эффективности организации по выполнению ремонтных работ отдельно взятого изделия, на основе которого принимать управленческие решения руководству предприятия.

3.2 Статистический анализ коэффициента поломок полигонного оборудования по различным изделиям

Проведем дополнительный статистический анализ коэффициента поломок по различным изделиям в специальном статистическом пакете SPSS. Для этого необходимо составить базу данных введенных значений по девяти изделиям [69-81]. Структура базы данных показана на рисунке 3.10.

	Имя	Тип	Ширина	Знаков ...	Метка	Значения	Пропущен...	Ширина...	Выравниван...	Мера	Роль
1	V001_1	Числовой	4	2	1.Изделие 1	Нет	Нет	8	☰ По право...	🔧 Шкалы	👉 Входная
2	V001_2	Числовой	4	2	2.Изделие 2	Нет	Нет	8	☰ По право...	🔧 Шкалы	👉 Входная
3	V001_3	Числовой	4	2	3.Изделие 3	Нет	Нет	8	☰ По право...	🔧 Шкалы	👉 Входная
4	V001_4	Числовой	4	2	4.Изделие 4	Нет	Нет	8	☰ По право...	🔧 Шкалы	👉 Входная
5	V001_5	Числовой	4	2	5.Изделие 5	Нет	Нет	8	☰ По право...	🔧 Шкалы	👉 Входная
6	V001_6	Числовой	4	2	6.Изделие 6	Нет	Нет	8	☰ По право...	🔧 Шкалы	👉 Входная
7	V001_7	Числовой	4	2	7.Изделие 7	Нет	Нет	8	☰ По право...	🔧 Шкалы	👉 Входная
8	V001_8	Числовой	4	2	8.Изделие 8	Нет	Нет	8	☰ По право...	🔧 Шкалы	👉 Входная
9	V001_9	Числовой	4	2	9.Изделие 9	Нет	Нет	8	☰ По право...	🔧 Шкалы	👉 Входная
10	V001_10	Числовой	4	2	10.Кoeffици...	Нет	Нет	8	☰ По право...	🔧 Шкалы	👉 Входная
11	V001_11	Числовой	4	0	11.Кoeffици... {1, низкий}...	Нет	Нет	8	☰ По право...	🔧 Шкалы	👉 Входная
12	RV001_10	Числовой	9	3	Rank of V001_...	Нет	Нет	11	☰ По право...	🔧 Шкалы	👉 Входная

Рисунок 3.10 – Структура базы данных по изделию 9
полигонного оборудования

Переменные v001_1-v001_9 показывают численные значения коэффициента поломок полигонного оборудования по кварталам на всех полигонах. Переменные v001_10 показывают средние значения данного коэффициента по всем изделиям. Переменная v001_11 определяет значения шкал коэффициента $G(t)$. Переменная RV001_10 присваивает автоматически значения рангов коэффициентам поломок по каждому изделию.

Далее заполняем базу данных имеющимися значениями по каждому изделию и кварталам в структурированном виде (рисунок 3.11).

	V001_1	V001_2	V001_3	V001_4	V001_5	V001_6	V001_7	V001_8	V001_9	V001_10	V001_11	RV001_10
1	,12	,25	,12	,25	,30	,15	,44	,25	,44	,29	2	7,000
2	,55	,21	,13	,21	,28	,21	,38	,21	,55	,23	1	5,000
3	,29	,17	,11	,21	,32	,17	,29	,17	,43	,22	1	2,500
4	,33	,30	,50	,20	,23	,14	,33	,30	,33	,22	1	2,500
5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	,23	1	5,000
6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	,14	1	1,000
7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	,36	3	8,000
8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	,23	1	5,000
9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	,44	3	9,000

Рисунок 3.11 – База данных по коэффициентам поломок всех видов
полигонного оборудования в соответствии с предложенной структурой

В программном пакете SPSS задаем следующие параметры частотной обработки (рисунок 3.12).

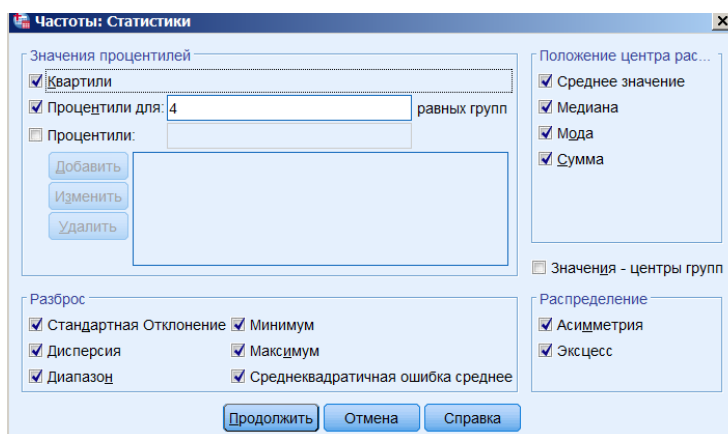


Рисунок 3.12 – Параметры частотной обработки, заданные в SPSS

После проведения анализа получим следующую таблицу расчетов (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Статистические характеристики коэффициента $G(t)$ по изделию 9 полигонного оборудования

Статистика		
10. Коэффициент поломок		
N	Валидные	9
	Пропущенные	28
Среднее		,2622
Стандартная ошибка среднего значения		,02971
Медиана		,2300
Мода		,23
Среднекв. отклонение		,08913
Дисперсия		,008
Асимметрия		1,021
Стандартная ошибка асимметрии		,717
Эксцесс		1,046
Стандартная ошибка эксцесса		1,400
Диапазон		,30
Минимум		,14
Максимум		,44
Сумма		2,36
Процентили	25	,2200
	50	,2300
	75	,3250

Из данных анализа можно сделать следующие выводы. Сначала проведем анализ процентилей. В расчете показаны первый, второй и третий процентиля (квартили). Первый квартиль (Q_1) – это точка на шкале измерений, ниже которой располагается 25 % измеренных значений. Второй квартиль (Q_2) – это точка, ниже которой располагаются 50 % измеренных значений. Второй квартиль также является медианой. Третий квартиль (Q_3) – это точка на шкале измеренных значений, ниже которой располагаются 75 % значений. Так как данные исследования имеются только в форме порядкового отношения, то в качестве меры разброса используется межквартильная широта, которая определяется как $Q = \frac{Q_3 - Q_1}{2}$.

В качестве точек раздела были заданы 4 группы. В этом случае были вычислены процентиля, разделяющие выборку на группы случаев, которые имеют одинаковую ширину, то есть включают одно и то же количество измеренных значений. Так как в параметрах были указаны 4 группы, то квартили соответствуют процентиям 25, 50 и 75. Число процентилей получается на единицу меньше заданного числа групп.

В таблице 3.7 получаем, что 25 % данных не выходят за значение коэффициента поломок 0,22, 50 % данных не выходят за значение коэффициента поломок 0,23, 75 % данных не выходят за значение коэффициента поломок 0,33. Это определяет частоту изделий для ремонта на полигонах.

В группе «Разброс» выбираем следующие меры разброса.

Стандартная ошибка среднего отклонения является мерой разброса измеренных величин, она равна квадратному корню из дисперсии. В интервале, равному удвоенному отклонению располагается примерно 67% всех значений выборки из нормального распределения. В нашем примере стандартная ошибка среднего отклонения составляет 0,02971, значит за нормальное распределение, выходят только приблизительно 6 % ($0,03*2=0,06$) значений выборки, что

говорит о подчинении значений коэффициента поломок нормальному распределению.

Следующим параметром рассмотрим дисперсию. Дисперсия – квадрат стандартного отклонения, эта характеристика является мерой разброса измеренных величин. Она определяется как сумма квадратов отклонений всех измеренных значений от их среднего значения, деленная на количество измерений минус 1. В нашем случае дисперсия составляет 0,008, что говорит о незначительном отклонении от среднего значения нормального распределения, это значит, что использование коэффициента поломок как среднеарифметического значения по данным измерениям является корректным, так как отклонение от среднего всего лишь 0,008.

Следующим параметром рассмотрим диапазон. Диапазон – это разница между наибольшим и наименьшим значениями. В исследовании разница между изделиями, требующими ремонта по разным типам, составляет 0,3, что означает, что некоторые типы изделий требуют ремонта на 30 % чаще, чем изделия других типов. Это означает, что для этих изделий ремонтные бригады вызываются на 30 % чаще и необходимость держать на складе на полигоне запасные части для этих изделий очень велика.

Наименьшим значением количества поломок является 0,14. Наибольшим значением является 0,44. Данная шкала позволяет определить шкалы для диверсификации коэффициента $G(t)$:

0,14 – 0,24 – низкий уровень поломок;

0,24 – 0,34 – средний уровень поломок;

0,34 – 0,44 – высокий уровень поломок.

Для определения уровней поломок в структуру базы данных была введена новая переменная `v001_11` с данными уровнями поломок, которая позволила количественные параметра привести к качественным значениям. В структуре базы данных эта переменная определялась следующим образом (рисунок 3.13).

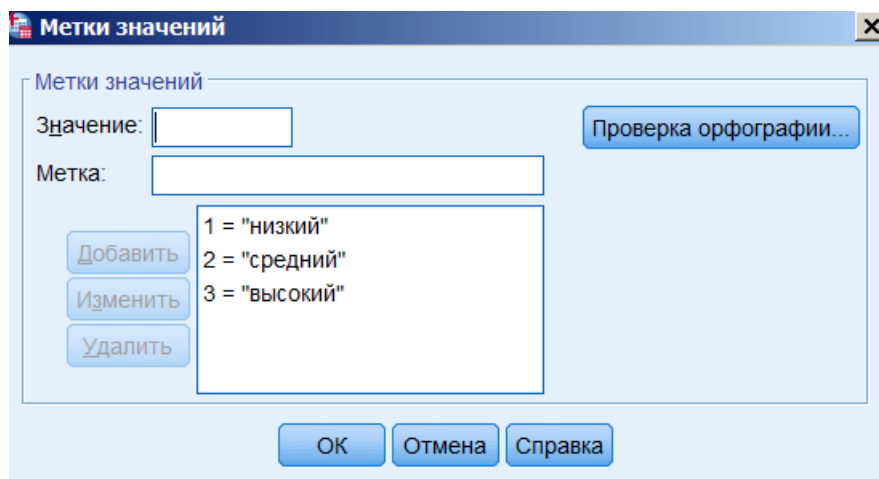


Рисунок 3.13 – Определение качественного критерия для коэффициента $G(t)$

Задание уровней для конкретных значений коэффициента поломок осуществляется при сортировке данных через задание правил (рисунок 3.14).

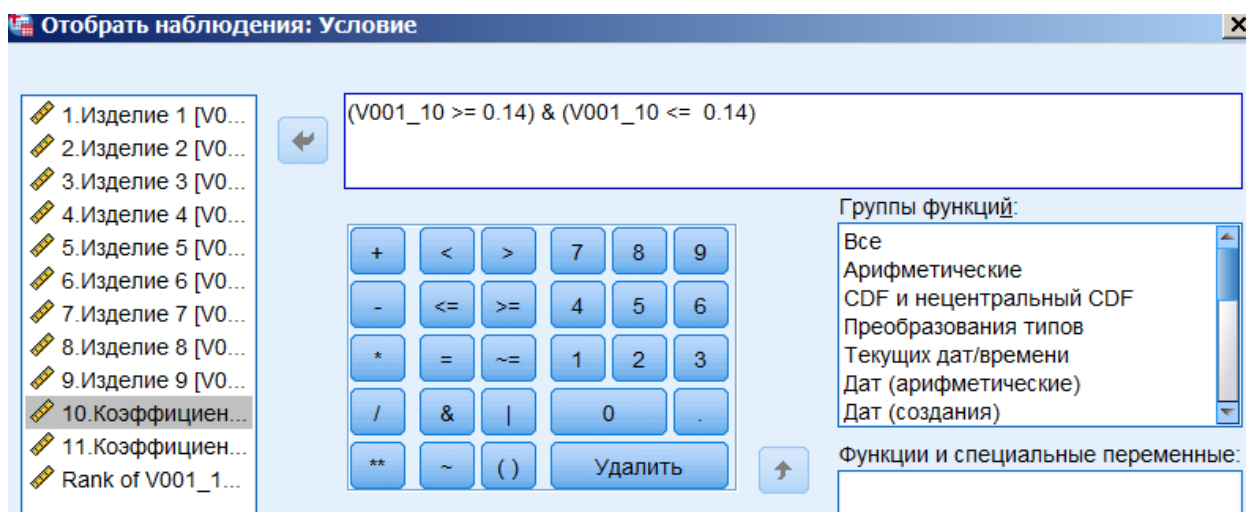


Рисунок 3.14 – Задание правил отбора уровней коэффициента поломок $G(t)$ в SPSS

В итоге после проведения анализа в соответствии с заданными правилами получили таблицу 3.8 частот по коэффициенту $G(t)$.

Таблица 3.7 – Частотный анализ коэффициента $G(t)$ по изделию 9 полигонного оборудования

Коэффициент поломок					
		Частота	Проценты	Валидный процент	Накопленный процент
Валидные	Низкий	6	16,2	66,7	66,7
	Средний	1	2,7	11,1	77,8
	Высокий	2	5,4	22,2	100,0
	Всего	9	24,3	100,0	
Пропущенные	Системные	28	75,7		
Всего		37	100,0		

В таблице 3.7 видно, что низкий уровень соответствует шести рассматриваемым типам полигонного оборудования, средний уровень соответствует одному типу полигонного оборудования и два типа изделий относятся к высокому уровню поломок. Это означает, что последние два типа изделий подвергаются частому ремонту и необходимо повышение качества комплектующих этих типов полигонного оборудования.

Следующим вычисленным значением является среднеквадратичное отклонение. В интервале шириной, равной удвоенной стандартной ошибке, отложенной вокруг среднего значения, располагается среднее значение генеральной совокупности с вероятностью около 67 %. Это отклонение определяется как стандартное отклонение, деленное на квадратный корень из объема выборки. Для коэффициента $G(t)$ в таблице 3.6 среднеквадратичное отклонение составляет 0,8913, это означает, что 67 % выбранных значений располагаются вокруг среднего значения, что говорит о наличии нормального распределения в данных.

В группе «Положение центра распределения» были выбраны следующие характеристики.

Рассмотрим характеристику «Среднее значение». Это арифметическое среднее измеренных значений, определяется как сумма значений, деленная на количество. При анализе коэффициента поломок значение получилось 0,2622,

что означает 26 изделий из 100 в среднем подлежат ремонту за рассматриваемый период времени.

Следующей характеристикой является медиана, которая определяет точку на шкале измеренных значений, выше и ниже которой лежит по половине всех измеренных значений. В нашем случае для $G(t)$ медиана составляет 0,23, это значит, что все остальные значения относительно этого значения располагаются в одинаковом количестве.

Следующей характеристикой является «мода», которая определяет значение, наиболее часто встречающееся в выборке. Если наибольшая частота встретилась у нескольких значений, то выбиралось наименьшее значение. В нашем случае мода для $G(t)$ 0,23, что подтверждает гипотезу о 23 % изделий, требующих ремонта в рассматриваемый промежуток времени по всем типам изделий.

Характеристика «Сумма» определяет суммарное значение изделий, подлежащих ремонту по всем типам изделий. В нашем случае это значение 2,36. Это значение показывает суммарное значение коэффициента поломок по всем типам полигонного оборудования.

В группе «Распределение» задавались характеристики «асимметрия» и «эксцесс». В таблице 3.6 был определен коэффициент асимметрии (стандартная ошибка асимметрии), равный 0,717. Этот коэффициент является мерой отклонения распределения частоты от симметричного распределения, то есть такого, у которого на одинаковом удалении от среднего значения по обе стороны выборки данных располагается одинаковое количество значений. Если наблюдения подчиняются нормальному распределению, то асимметрия равна нулю. Чем сильнее коэффициент асимметрии отличается от нуля, тем больше отвергается гипотеза о нормальном распределении. Если вершина асимметричного распределения сдвинута к меньшим значениям, то говорят о положительной асимметрии, в другом случае – об отрицательной. В нашем случае коэффициент асимметрии означает, что коэффициент поломок подчиняется

нормальному распределению и так как он положительный, то сдвиг данных идет в сторону увеличения.

Рассмотрим характеристику «коэффициент вариации или эксцесс» (стандартная ошибка эксцесса). При исследовании коэффициента поломок $G(t)$ он составляет 1,4. Стандартная ошибка эксцесса показывает, является ли распределение пологим (при большом значении коэффициента) или крутым. В нашем случае нормальное распределение является пологим.

В итоге построенная гистограмма нормального распределения, показанная на рисунке 3.15, формирует и наличие нормального распределения по коэффициентам поломок и пологий вид этого распределения. Так данные значения подчиняются нормальному закону распределения, то и все вычисленные характеристики можно примерять при анализе величины $G(t)$. Единственным выбросом на гистограмме является выброс у значения 0,20, что говорит о наличии частого ремонта по одному типу изделий, что означает недостаточное качество комплектующих для данного изделия и о необходимости дальнейшей доработки.

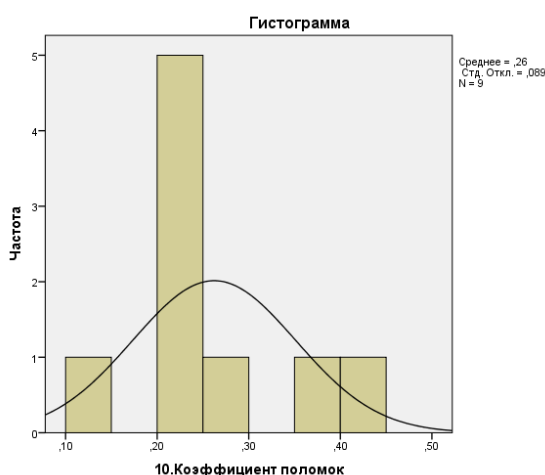


Рисунок 3.15 – Гистограмма нормального закона распределения коэффициента поломок по изделиям полигонного оборудования

Статистические характеристики также можно определить по всем девяти типам изделий полигонного оборудования.

Статистический анализ в программном пакете SPSS позволил получить следующие характеристики по ремонту и техническому обслуживанию для унифицированного мишенного устройства УМУ-С_* (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Статистические характеристики коэффициента поломок по изделию 1 полигонного оборудования

Статистика		
Изделие 1		
N	Валидные	4
	Пропущенные	33
Среднее		,3225
Стандартная ошибка среднего значения		,08845
Медиана		,3100
Мода		,12 ^a
Среднекв. отклонение		,17689
Дисперсия		,031
Асимметрия		,414
Стандартная Ошибка асимметрии		1,014
Экссесс		1,347
Стандартная ошибка эксцесса		2,619
Диапазон		,43
Минимум		,12
Максимум		,55
Сумма		1,29
Процентили	25	,1625
	50	,3100
	75	,4950

Из данных анализа можно сделать следующие выводы. Сначала проведем анализ процентилей. В расчете показаны первый, второй и третий процентиля (квартили).

В таблице 3.8 получаем, что 25 % данных не выходят за значение коэффициента поломок 0,16, 50 % данных не выходят за значение коэффициента поломок 0,31, 75 % данных не выходят за значение коэффициента поломок

0,50. Это определяет частоту изделий для ремонта на полигонах. В среднем изделие первого типа относится к качественным изделиям с редким ремонтом, т.е. ремонту подвергается 16 изделий из 100 единиц.

В группе «Разброс» выбираем следующие меры разброса.

Стандартная ошибка среднего отклонения является мерой разброса измеренных величин, она равна квадратному корню из дисперсии. В нашем примере стандартная ошибка среднего отклонения составляет 0,088, значит за нормальное распределение, выходят только приблизительно 18 % ($0,09 \cdot 2 = 0,18$) значений выборки, что говорит об отклонении значений коэффициента поломок от нормального распределения.

Следующим параметром рассмотрим дисперсию. Дисперсия – квадрат стандартного отклонения, эта характеристика является мерой разброса измеренных величин. В нашем случае дисперсия составляет 0,03, что говорит о значительном отклонении от среднего значения нормального распределения, это значит, что использование коэффициента поломок как среднеарифметического значения по данным измерениям является некорректным, так как отклонение от среднего составляет 3 %.

Следующим параметром рассмотрим диапазон. В исследовании разница между изделиями, требующими ремонта по типу 1, составляет 0,43, что означает, что этот тип изделия требует ремонта чаще, чем в среднем (0,33) по другим типам изделий. Это означает, что для этих изделий типа 1 ремонтные бригады вызываются часто и необходимость держать на складе на полигоне запасные части для этих изделий очень велика.

Но так как данные по первому типу изделий подчиняются нормальному распределению из-за стандартной ошибки среднего отклонения на уровне 8 %, то применять меры по организации ремонтных работ на основании этих статистических данных пока не корректно и требуется дальнейший мониторинг данных по этому типу изделий.

Следующим вычисленным значением является среднеквадратичное отклонение. Для коэффициента поломок изделий первого типа в таблице 3.8 среднеквадратичное отклонение составляет 0,18, это означает, что 18 % выбранных значений располагаются вокруг среднего значения, что говорит об отсутствии нормального распределения в данных.

В группе «Положение центра распределения» были выбраны следующие характеристики.

Рассмотрим характеристику «Среднее значение». Это арифметическое среднее измеренных значений, определяется как сумма значений, деленная на количество. При анализе коэффициента поломок значение получилось 0,3225, что означает 32 изделия из 100 в среднем подлежат ремонту за рассматриваемый период времени, что больше среднего значения по всем другим изделиям (26 изделий).

Следующей характеристикой является медиана, которая определяет точку на шкале измеренных значений, выше и ниже которой лежит по половине всех измеренных значений. В нашем случае для $G(t)$ медиана составляет 0,31, это значит, что все остальные значения относительно этого значения располагаются в одинаковом количестве.

Следующей характеристикой является «мода», которая определяет значение, наиболее часто встречающееся в выборке. В нашем случае мода для $G(t)$ 0,12, что подтверждает гипотезу о 12 % изделий, требующих ремонта в рассматриваемый промежуток времени по всем типам изделий, но так как у данного значения есть уточняющее значение «а», то это указывает, что программе не удалось точно определить значение моды и требуется больше данных для ее определения.

Характеристика «Сумма» определяет суммарное значение изделий, подлежащих ремонту по этому типу изделий. В нашем случае это значение 1,29. Это значение показывает суммарное значение коэффициента поломок по типу изделий полигонного оборудования.

В группе «Распределение» задавались характеристики «асимметрия» и «эксцесс». В таблице 3.8 был определен коэффициент асимметрии (стандартная ошибка асимметрии), равный 1,014. Этот коэффициент является мерой отклонения распределения частоты от симметричного распределения. В нашем случае коэффициент асимметрии означает, что коэффициент поломок не подчиняется нормальному распределению и так как он положительный, то сдвиг данных идет в сторону увеличения.

Рассмотрим характеристику «коэффициент вариации или эксцесс» (стандартная ошибка эксцесса). При исследовании коэффициента поломок первого типа изделий он составляет 1,347. Стандартная ошибка эксцесса показывает, является ли распределение пологим (при большом значении коэффициента) или крутым. В нашем случае нормальное распределение является крутым.

В итоге построенная гистограмма нормального распределения, показанная на рисунке 3.16, формирует нормальное распределение по коэффициентам поломок первого типа изделий и показывает крутой вид этого распределения. Но предыдущие статистические характеристики сообщают, что это распределение не может учитываться полноценно в анализе технического обслуживания и ремонта для первого типа изделий и требуется добавление данных при дальнейшем мониторинге квартальных значений.

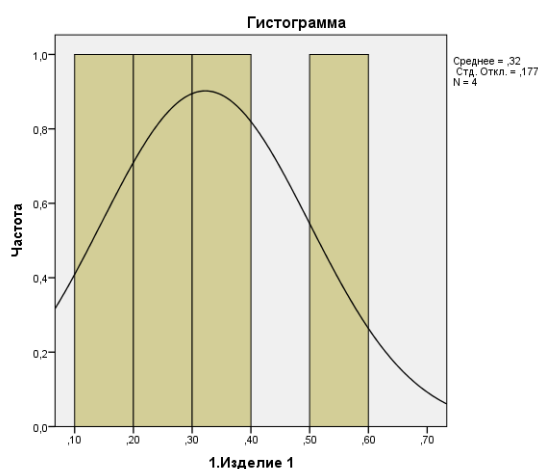


Рисунок 3.16 – Гистограмма нормального закона распределения коэффициента поломок по первому типу изделий полигонного оборудования

Статистический анализ в программном пакете SPSS позволил получить следующие характеристики по ремонту и техническому обслуживанию для мишенного устройства УМУ-Т1-* (таблица 3.9).

Таблица 3.9 – Статистические характеристики коэффициента поломок по изделию 2 полигонного оборудования

Статистика		
Изделие 2		
N	Валидные	4
	Пропущенные	33
Среднее		,2325
Стандартная ошибка среднего значения		,02780
Медиана		,2300
Мода		,17 ^a
Среднекв. отклонение		,05560
Дисперсия		,003
Асимметрия		,223
Стандартная Ошибка асимметрии		1,014
Эксцесс		-,817
Стандартная ошибка эксцесса		2,619
Диапазон		,13
Минимум		,17
Максимум		,30
Сумма		,93
Процентили	25	,1800
	50	,2300
	75	,2875

Из данных анализа можно сделать следующие выводы. Сначала проведем анализ процентилей. В расчете показаны первый, второй и третий процентиля (квартили).

В таблице 3.9 получаем, что 25 % данных не выходят за значение коэффициента поломок 0,18, 50 % данных не выходят за значение коэффициента поломок 0,23, 75 % данных не выходят за значение коэффициента поломок

0,29. Это определяет частоту изделий для ремонта на полигонах. В среднем изделие второго типа относится к качественным изделиям с редким ремонтом, т.е. ремонту подвергается 18 изделий из 100 единиц.

В группе «Разброс» выбираем следующие меры разброса.

Стандартная ошибка среднего отклонения является мерой разброса измеренных величин, она равна квадратному корню из дисперсии. В нашем примере стандартная ошибка среднего отклонения составляет 0,02780, значит за нормальное распределение, выходят только приблизительно 6 % ($0,03*2=0,06$) значений выборки, что говорит о том, что значения коэффициента поломок не отходят от нормального распределения.

Следующим параметром рассмотрим дисперсию. Дисперсия – квадрат стандартного отклонения, эта характеристика является мерой разброса измеренных величин. В нашем случае дисперсия составляет 0,003, что говорит о незначительном отклонении от среднего значения нормального распределения, это значит, что использование коэффициента поломок как среднеарифметического значения по данным измерениям является корректным, так как отклонение от среднего составляет 0,3 %.

Следующим параметром рассмотрим диапазон. В исследовании разница между изделиями 2, требующими ремонта, составляет 0,13, что означает, что этот тип изделия требует ремонта значительно реже, чем в среднем (0,33) по другим типам изделий. Это означает, что для этих изделий 2 ремонтные бригады вызываются редко и необходимость держать на складе на полигоне запасные части для этих изделий мала.

Но так как данные по второму типу изделий подчиняются нормальному распределению из-за стандартной ошибки среднего отклонения на уровне 3 %, то применять меры по организации ремонтных работ на основании этих статистических данных корректно и не требуется дальнейший мониторинг данных по этому типу изделий.

Следующим вычисленным значением является среднеквадратичное отклонение. Для коэффициента поломок изделий первого типа в таблице 3.9 среднеквадратичное отклонение составляет 0,05560, это означает, что 56 % выбранных значений располагаются вокруг среднего значения, что говорит о наличии нормального распределения в данных.

В группе «Положение центра распределения» были выбраны следующие характеристики.

Рассмотрим характеристику «Среднее значение». Это арифметическое среднее измеренных значений, определяется как сумма значений, деленная на количество. При анализе коэффициента поломок значение получилось 0,2325, что означает, что 23 изделия из 100 в среднем подлежат ремонту за рассматриваемый период времени, что меньше среднего значения по всем другим изделиям (26 изделий).

Следующей характеристикой является медиана, которая определяет точку на шкале измеренных значений, выше и ниже которой лежит по половине всех измеренных значений. В нашем случае для $G(t)$ медиана составляет 0,23, это значит, что все остальные значения относительно этого значения располагаются в одинаковом количестве.

Следующей характеристикой является «мода», которая определяет значение, наиболее часто встречающееся в выборке. В нашем случае мода для $G(t)$ 0,17, что подтверждает гипотезу о 17 % изделий, требующих ремонта в рассматриваемый промежуток времени по этому типу изделий, но так как у данного значения есть уточняющее значение «а», то это указывает, что программе не удалось точно определить значение моды и требуется больше данных для ее определения.

Характеристика «Сумма» определяет суммарное значение изделий, подлежащих ремонту по этому типу изделий. В нашем случае это значение 0,93. Это значение показывает суммарное значение коэффициента поломок по типу изделий полигонного оборудования.

В группе «Распределение» задавались характеристики «асимметрия» и «эксцесс». В таблице 10 была определена асимметрия равная 0,223. Эта мера показывает отклонение распределения частоты от симметричного распределения. В нашем случае коэффициент асимметрии означает, что коэффициент поломок подчиняется нормальному распределению и так как он положительный, то сдвиг данных идет в сторону увеличения.

Рассмотрим характеристику «эксцесс». При исследовании коэффициента поломок второго типа изделий он составляет -0,817. Эксцесс показывает, является ли распределение пологим (при большом значении коэффициента) или крутым. В нашем случае нормальное распределение является крутым.

В итоге построенная гистограмма нормального распределения, показанная на рисунке 3.17, формирует нормальное распределение по коэффициентам поломок второго типа изделий и показывает пологий вид этого распределения. Предыдущие статистические характеристики сообщают, что это распределение может учитываться полноценно в анализе технического обслуживания и ремонта для второго типа изделий и сообщает о приемлемом качестве данного типа изделий, и редком ремонте на полигонах без добавления данных при мониторинге квартальных значений.

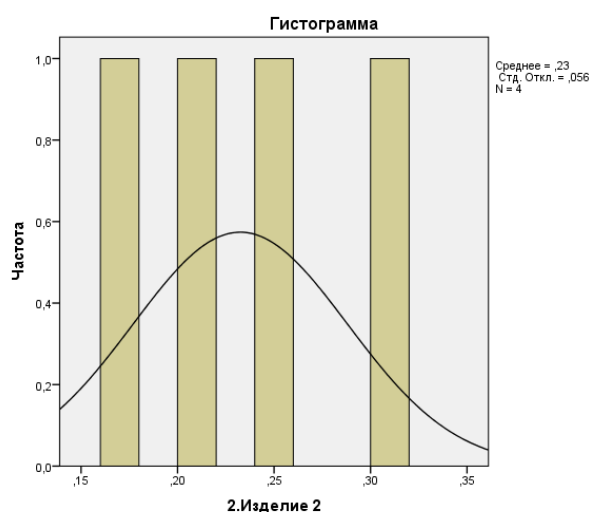


Рисунок 3.17 – Гистограмма нормального закона распределения коэффициента поломок по второму типу изделий полигонного оборудования

Статистический анализ в программном пакете SPSS позволил получить следующие характеристики по ремонту и техническому обслуживанию для пульта управления ПУ-* (таблица 3.10).

Таблица 3.10 – Статистические характеристики коэффициента поломок по изделию 3 полигонного оборудования

Статистика		
Изделие 3		
N	Валидные	4
	Пропущенные	33
Среднее		,2150
Стандартная ошибка среднего значения		,09509
Медиана		,1250
Мода		,11 ^a
Среднекв. отклонение		,19018
Дисперсия		,036
Асимметрия		1,989
Стандартная Ошибка асимметрии		1,014
Эксцесс		3,963
Стандартная ошибка эксцесса		2,619
Диапазон		,39
Минимум		,11
Максимум		,50
Сумма		,86
Процентили	25	,1125
	50	,1250
	75	,4075

Из данных анализа можно сделать следующие выводы. Сначала проведем анализ процентилей. В расчете показаны первый, второй и третий процентиля (квартили).

В таблице 3.10 получаем, что 25 % данных не выходят за значение коэффициента поломок 0,11, 50 % данных не выходят за значение коэффициента поломок 0,13, 75 % данных не выходят за значение коэффициента поломок

0,41. Это определяет частоту изделий для ремонта на полигонах. В среднем изделие третьего типа относится к качественным изделиям с редким ремонтом, т.е. ремонту подвергается 11 изделий из 100 единиц.

В группе «Разброс» выбираем следующие меры разброса.

Стандартная ошибка среднего отклонения является мерой разброса измеренных величин, она равна квадратному корню из дисперсии. В нашем примере стандартная ошибка среднего отклонения составляет 0,09509, значит за нормальное распределение, выходят только приблизительно 9 % ($0,09 \cdot 2 = 0,18$) значений выборки, что говорит о том, что значения коэффициента поломок отходят от нормального распределения.

Следующим параметром рассмотрим дисперсию. Дисперсия – квадрат стандартного отклонения, эта характеристика является мерой разброса измеренных величин. В нашем случае дисперсия составляет 0,036, что говорит о значительном отклонении от среднего значения нормального распределения, это значит, что использование коэффициента поломок как среднеарифметического значения по данным измерениям является корректным, так как отклонение от среднего составляет 0,4 %.

Следующим параметром рассмотрим диапазон. В исследовании разница между изделиями 3, требующими ремонта, составляет 0,39, что означает, что этот тип изделия требует ремонта чаще, чем в среднем (0,33) по другим типам изделий. Это означает, что для этих изделий 3 ремонтные бригады вызываются нередко и необходимость держать на складе на полигоне запасные части для этих изделий есть, но только в случае, когда будет решен вопрос с изделиями первого типа, у которых эти значения хуже.

Но так как данные по третьему типу изделий не подчиняются нормальному распределению из-за стандартной ошибки среднего отклонения на уровне 9 %, то применять меры по организации ремонтных работ на основании этих статистических данных некорректно и требуется дальнейший мониторинг данных по этому типу изделий.

Следующим вычисленным значением является среднеквадратичное отклонение. Для коэффициента поломок изделий третьего типа в таблице 3.10

среднеквадратичное отклонение составляет 0,19018, это означает, что большинство выбранных значений располагаются вокруг среднего значения, что говорит о наличии нормального распределения в данных.

В группе «Положение центра распределения» были выбраны следующие характеристики.

Рассмотрим характеристику «Среднее значение». Это арифметическое среднее измеренных значений, определяется как сумма значений, деленная на количество. При анализе коэффициента поломок значение получилось 0,2150, что означает, что 22 изделия из 100 в среднем подлежат ремонту за рассматриваемый период времени, что меньше среднего значения по всем другим изделиям (26 изделий).

Следующей характеристикой является медиана, которая определяет точку на шкале измеренных значений, выше и ниже которой лежит по половине всех измеренных значений. В нашем случае для $G(t)$ медиана составляет 0,13, это значит, что все остальные значения относительно этого значения располагаются в одинаковом количестве.

Следующей характеристикой является «мода», которая определяет значение, наиболее часто встречающееся в выборке. В нашем случае мода для $G(t)$ 0,11, что подтверждает гипотезу о 11 % изделий, требующих ремонта в рассматриваемый промежуток времени по этому типу изделий. Так как у данного значения есть уточняющее значение «а», то это указывает, что программе не удалось точно определить значение моды и требуется больше данных для ее определения.

Характеристика «Сумма» определяет суммарное значение изделий, подлежащих ремонту по этому типу изделий. В нашем случае это значение 0,86. Это значение показывает суммарное значение коэффициента поломок по этому типу изделий полигонного оборудования.

В группе «Распределение» задавались характеристики «асимметрия» и «эксцесс». В таблице 3.10 была определена асимметрия равная 1,989. Эта мера показывает отклонение распределения частоты от симметричного распределения. В нашем случае коэффициент асимметрии означает, что коэффициент по-

ломок не подчиняется нормальному распределению и так как он положительный, то сдвиг данных идет в сторону увеличения.

Рассмотрим характеристику «эксцесс». При исследовании коэффициента поломок второго типа изделий он составляет 3,963. Эксцесс показывает, является ли распределение пологим (при большом значении коэффициента) или крутым. В нашем случае нормальное распределение является пологим.

В итоге построенная гистограмма нормального распределения, показанная на рисунке 3.18, формирует нормальное распределение по коэффициентам поломок третьего типа изделий и показывает пологий вид этого распределения. Предыдущие статистические характеристики сообщают, что это распределение имеет двойственную структуру и может учитываться ограниченно в анализе технического обслуживания и ремонта для третьего типа изделий и сообщает о частично приемлемом качестве данного типа изделий, и редком ремонте на полигонах. Для данного типа изделий лучше провести мониторинг данных по коэффициенту поломок поквартально в следующие периоды времени.

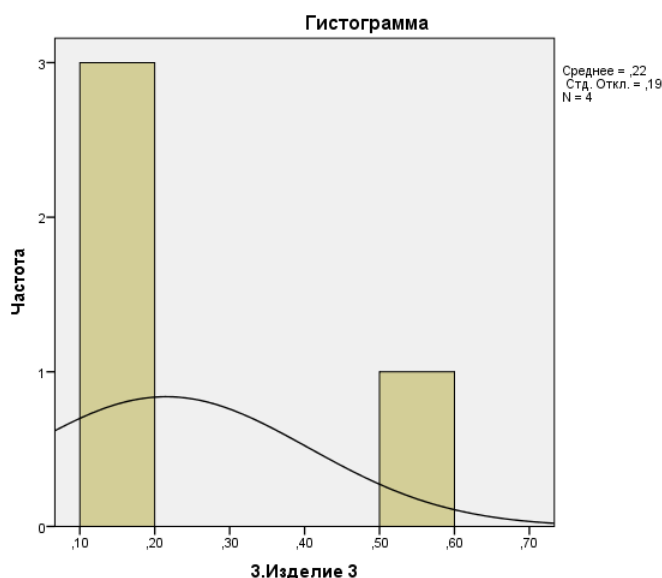


Рисунок 3.18 – Гистограмма нормального закона распределения коэффициента поломок по изделию 3 полигонного оборудования

Статистический анализ в программном пакете SPSS позволил получить следующие характеристики по ремонту и техническому обслуживанию установки для подъема мишенного зависающего вертолета УПМВ-* (таблица 3.11).

Таблица 3.11 – Статистические характеристики коэффициента поломок по изделию 4 полигонного оборудования

Статистика		
Изделие 4		
N	Валидные	4
	Пропущенные	33
Среднее		,2175
Стандартная ошибка среднего значения		,01109
Медиана		,2100
Мода		,21
Среднекв. отклонение		,02217
Дисперсия		,000
Асимметрия		1,720
Стандартная Ошибка асимметрии		1,014
Эксцесс		3,265
Стандартная ошибка эксцесса		2,619
Диапазон		,05
Минимум		,20
Максимум		,25
Сумма		,87
Процентили	25	,2025
	50	,2100
	75	,2400

Из данных анализа можно сделать следующие выводы. Сначала проведем анализ процентилей. В расчете показаны первый, второй и третий процентиля (квартили).

В таблице 3.11 получаем, что 25 % данных не выходят за значение коэффициента поломок 0,20, 50 % данных не выходят за значение коэффициента поломок 0,21, 75 % данных не выходят за значение коэффициента поломок

0,24. Это определяет частоту изделий для ремонта на полигонах. В среднем изделие четвертого типа относится к качественным изделиям с редким ремонтом, т.е. ремонту подвергается 20 изделий из 100 единиц (среднее 22 изделия).

В группе «Разброс» выбираем следующие меры разброса.

Стандартная ошибка среднего отклонения является мерой разброса измеренных величин, она равна квадратному корню из дисперсии. В нашем примере стандартная ошибка среднего отклонения составляет 0,011, значит за нормальное распределение, выходят только приблизительно 1 % ($0,01 \cdot 2 = 0,02$) значений выборки, что говорит о том, что значения коэффициента поломок не отходят от нормального распределения.

Следующим параметром рассмотрим дисперсию. Дисперсия – квадрат стандартного отклонения, эта характеристика является мерой разброса измеренных величин. В нашем случае дисперсия составляет 0,000, что говорит об отсутствии отклонения от среднего значения нормального распределения, это значит, что использование коэффициента поломок как среднеарифметического значения по данным измерениям является корректным, так как отклонение от среднего составляет 0,0 %.

Следующим параметром рассмотрим диапазон. В исследовании разница между изделиями 4, требующими ремонта, составляет 0,05, что означает, что этот тип изделия требует ремонта очень редко, чем в среднем (0,33) по другим типам изделий. Это означает, что для этих изделий типа 4 ремонтные бригады вызываются редко, практически единично, и необходимости держать на складе на полигоне запасные части для этих изделий отсутствует, что говорит об очень качественном производстве этих изделий.

Но так как данные по четвертому типу изделий подчиняются нормальному распределению из-за стандартной ошибки среднего отклонения на уровне 1 %, то применять меры по организации ремонтных работ на основании этих статистических данных корректно и не требуется дальнейший мониторинг данных по этому типу изделий.

Следующим вычисленным значением является среднеквадратичное отклонение. Для коэффициента поломок изделий четвертого типа в таблице 3.11 среднеквадратичное отклонение составляет 0,022, это означает, что большинство выбранных значений располагаются вокруг среднего значения, что говорит о наличии нормального распределения в данных.

В группе «Положение центра распределения» были выбраны следующие характеристики.

Рассмотрим характеристику «Среднее значение». Это арифметическое среднее измеренных значений, определяется как сумма значений, деленная на количество. При анализе коэффициента поломок значение получилось 0,2175, что означает, что 22 изделия из 100 в среднем подлежат ремонту за рассматриваемый период времени, что меньше среднего значения по всем другим изделиям (26 изделий).

Следующей характеристикой является медиана, которая определяет точку на шкале измеренных значений, выше и ниже которой лежит по половине всех измеренных значений. В нашем случае для $G(t)$ медиана составляет 0,21, это значит, что все остальные значения относительно этого значения располагаются в одинаковом количестве.

Следующей характеристикой является «мода», которая определяет значение, наиболее часто встречающееся в выборке. В нашем случае мода для $G(t)$ 0,21, что подтверждает гипотезу о 21 % изделий, требующих ремонта в рассматриваемый промежуток времени по этому типу изделий. Так как у данного значения нет уточняющего значения «а», то это указывает, что программе удалось точно определить значение моды и не требуется больше данных для ее определения.

Характеристика «Сумма» определяет суммарное значение изделий, подлежащих ремонту по этому типу изделий. В нашем случае это значение 0,87. Это значение показывает суммарное значение коэффициента поломок по этому типу изделий полигонного оборудования.

В группе «Распределение» задавались характеристики «асимметрия» и «эксцесс». В таблице 3.11 была определена асимметрия равная 1,72. Эта мера показывает отклонение распределения частоты от симметричного распределения. В нашем случае коэффициент асимметрии означает, что коэффициент поломок не подчиняется нормальному распределению и так как он положительный, то сдвиг данных идет в сторону увеличения.

Рассмотрим характеристику «эксцесс». При исследовании коэффициента поломок второго типа изделий он составляет 2,619. Эксцесс показывает, является ли распределение пологим (при большом значении коэффициента) или крутым. В нашем случае нормальное распределение является пологим.

В итоге построенная гистограмма нормального распределения, показанная на рисунке 3.19, формирует нормальное распределение по коэффициентам поломок четвертого типа изделий и показывает пологий вид этого распределения. Предыдущие статистические характеристики сообщают, что это распределение имеет нормальный вид распределения и может учитываться в анализе технического обслуживания и ремонта для четвертого типа изделий и сообщает об очень хорошем качестве данного типа изделий, и редком ремонте на полигонах. Для данного типа изделий лучше не требуется проводить мониторинг данных по коэффициенту поломок поквартально в следующие периоды времени.

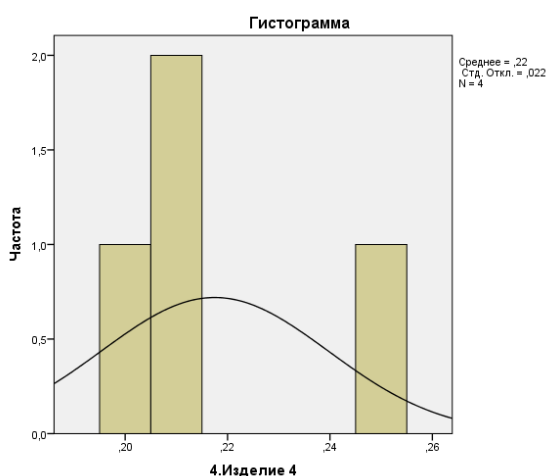


Рисунок 3.19 – Гистограмма нормального закона распределения коэффициента поломок по изделию 4 полигонного оборудования

Статистический анализ в программном пакете SPSS позволил получить следующие характеристики по ремонту и техническому обслуживанию установки для подъема средних мишеней с подключенным автоматом-имитатором АИ-* (таблица 3.12).

Таблица 3.12 – Статистические характеристики коэффициента поломок по изделию 5 полигонного оборудования

Статистика		
Изделие 5		
N	Валидные	4
	Пропущенные	33
Среднее		,2825
Стандартная ошибка среднего значения		,01931
Медиана		,2900
Мода		,23 ^a
Среднекв. отклонение		,03862
Дисперсия		,001
Асимметрия		-1,002
Стандартная Ошибка асимметрии		1,014
Эксцесс		,984
Стандартная ошибка эксцесса		2,619
Диапазон		,09
Минимум		,23
Максимум		,32
Сумма		1,13
Процентили	25	,2425
	50	,2900
	75	,3150

Из данных анализа можно сделать следующие выводы. Сначала проведем анализ процентилей. В расчете показаны первый, второй и третий процентиля (квартили).

В таблице 3.12 получаем, что 25 % данных не выходят за значение коэффициента поломок 0,24, 50 % данных не выходят за значение коэффициента

поломок 0,29, 75 % данных не выходят за значение коэффициента поломок 0,31. Это определяет частоту изделий для ремонта на полигонах. В среднем изделие пятого типа относится к качественным изделиям с ремонтом, выше среднего, т.е. ремонту подвергается 24 изделия из 100 единиц.

В группе «Разброс» выбираем следующие меры разброса.

Стандартная ошибка среднего отклонения является мерой разброса измеренных величин, она равна квадратному корню из дисперсии. В нашем примере стандартная ошибка среднего отклонения составляет 0,01931, значит за нормальное распределение, выходят только приблизительно 4% ($0,02*2=0,04$) значений выборки, что говорит об отсутствии отклонений значений коэффициента поломок от нормального распределения.

Следующим параметром рассмотрим дисперсию. Дисперсия – квадрат стандартного отклонения, эта характеристика является мерой разброса измеренных величин. В нашем случае дисперсия составляет 0,001, что говорит о незначительном отклонении от среднего значения нормального распределения, это значит, что использование коэффициента поломок как среднеарифметического значения по данным измерениям является корректным, так как отклонение от среднего составляет 0,1 %.

Следующим параметром рассмотрим диапазон. В исследовании разница между изделиями 5, требующими ремонта, составляет 0,09, что означает, что этот тип изделия требует ремонта намного реже, чем в среднем (0,33) по другим типам изделий. Это означает, что для этих изделий типа 5 ремонтные бригады вызываются очень редко и необходимость держать на складе на полигоне запасные части для этих изделий практически отсутствует, изделие относится к качественным.

Но так как данные по пятому типу изделий подчиняются нормальному распределению из-за стандартной ошибки среднего отклонения на уровне 4 %, то применять меры по организации ремонтных работ на основании этих статистических данных корректно и не требуется дальнейший мониторинг данных по этому типу изделий.

Следующим вычисленным значением является среднеквадратичное отклонение. Для коэффициента поломок изделий пятого типа в таблице 3.12 среднеквадратичное отклонение составляет 0,039, это означает, что 4 % выбранных значений располагаются вокруг среднего значения, что говорит о наличии нормального распределения в данных.

В группе «Положение центра распределения» были выбраны следующие характеристики.

Рассмотрим характеристику «Среднее значение». Это арифметическое среднее измеренных значений, определяется как сумма значений, деленная на количество. При анализе коэффициента поломок значение получилось 0,2825, что означает 28 изделий из 100 в среднем подлежат ремонту за рассматриваемый период времени, что больше среднего значения по всем другим изделиям (26 изделий).

Следующей характеристикой является медиана, которая определяет точку на шкале измеренных значений, выше и ниже которой лежит по половине всех измеренных значений. В нашем случае для $G(t)$ медиана составляет 0,29, это значит, что все остальные значения относительно этого значения располагаются в одинаковом количестве.

Следующей характеристикой является «мода», которая определяет значение, наиболее часто встречающееся в выборке. В нашем случае мода для $G(t)$ 0,23, что подтверждает гипотезу о 23 % изделий, требующих ремонта в рассматриваемый промежуток времени по этому типу изделий, но так как у данного значения есть уточняющее значение «а», то это указывает, что программе не удалось точно определить значение моды и требуется больше данных для ее определения.

Характеристика «Сумма» определяет суммарное значение изделий, подлежащих ремонту по этому типу изделий. В нашем случае это значение 1,13. Это значение показывает суммарное значение коэффициента поломок по этому типу изделий полигонного оборудования.

В группе «Распределение» задавались характеристики «асимметрия» и «эксцесс». В таблице 3.12 была определена асимметрия равная - 1,002. Это

значение является мерой отклонения распределения частоты от симметричного распределения. В нашем случае коэффициент асимметрии означает, что коэффициент поломок не достаточно подчиняется нормальному распределению и так как он положительный, то сдвиг данных идет в сторону увеличения.

Рассмотрим характеристику «эксцесс» (стандартная ошибка эксцесса). При исследовании коэффициента поломок пятого типа изделий он составляет 0,984. Стандартная ошибка эксцесса показывает, является ли распределение пологим (при большом значении коэффициента) или крутым. В нашем случае нормальное распределение является крутым.

В итоге построенная гистограмма нормального распределения, показанная на рисунке 3.20, формирует нормальное распределение по коэффициентам поломок пятого типа изделий и показывает крутой вид этого распределения. Предыдущие статистические характеристики сообщают, что это распределение может учитываться полноценно в анализе технического обслуживания и ремонта для пятого типа изделий и не требуется добавление данных при дальнейшем мониторинге квартальных значений.

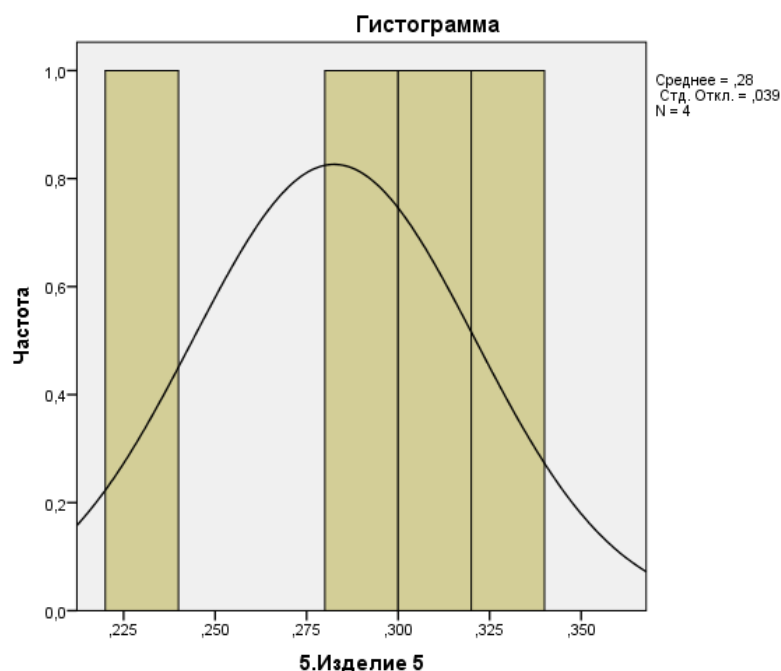


Рисунок 3.20 – Гистограмма нормального закона распределения коэффициента поломок по изделию 5 полигонного оборудования

Статистический анализ в программном пакете SPSS позволил получить следующие характеристики по ремонту и техническому обслуживанию установки движущейся мишени УДМ-*, УДМ-*-* (таблица 3.13).

Таблица 3.13 – Статистические характеристики коэффициента поломок по 6 типу изделий полигонного оборудования

Статистика		
Изделие 6		
N	Валидные	4
	Пропущенные	33
Среднее		,1675
Стандартная ошибка среднего значения		,01548
Медиана		,1600
Мода		,14 ^a
Среднекв.отклонение		,03096
Дисперсия		,001
Асимметрия		1,138
Стандартная Ошибка асимметрии		1,014
Эксцесс		,758
Стандартная ошибка эксцесса		2,619
Диапазон		,07
Минимум		,14
Максимум		,21
Сумма		,67
Процентили	25	,1425
	50	,1600
	75	,2000

Из данных анализа можно сделать следующие выводы. Сначала проведем анализ процентилей. В расчете показаны первый, второй и третий процентиля (квартили).

В таблице 3.13 получаем, что 25 % данных не выходят за значение коэффициента поломок 0,14, 50 % данных не выходят за значение коэффициента поломок 0,16, 75 % данных не выходят за значение коэффициента поломок

0,20. Это определяет частоту изделий для ремонта на полигонах. В среднем изделие шестого типа относится к качественным изделиям с ремонтом, выше среднего, т.е. ремонту подвергается 14 изделий из 100 единиц.

В группе «Разброс» выбираем следующие меры разброса.

Стандартная ошибка среднего отклонения является мерой разброса измеренных величин, она равна квадратному корню из дисперсии. В нашем примере стандартная ошибка среднего отклонения составляет 0,01548, значит за нормальное распределение, выходят только приблизительно 4 % ($0,02 \cdot 2 = 0,04$) значений выборки, что говорит об отсутствии отклонений значений коэффициента поломок от нормального распределения.

Следующим параметром рассмотрим дисперсию. Дисперсия – квадрат стандартного отклонения, эта характеристика является мерой разброса измеренных величин. В нашем случае дисперсия составляет 0,001, что говорит о незначительном отклонении от среднего значения нормального распределения, это значит, что использование коэффициента поломок как среднеарифметического значения по данным измерениям является корректным, так как отклонение от среднего составляет 0,1 %.

Следующим параметром рассмотрим диапазон. В исследовании разница между изделиями, требующими ремонта по типу 6, составляет 0,07, что означает, что этот тип изделия требует ремонта намного реже, чем в среднем (0,33) по другим типам изделий. Это означает, что для этих изделий типа 6 ремонтные бригады вызываются очень редко и необходимость держать на складе на полигоне запасные части для этих изделий практически отсутствует, изделие относится к качественным.

Но так как данные по шестому типу изделий подчиняются нормальному распределению из-за стандартной ошибки среднего отклонения на уровне 4 %, то применять меры по организации ремонтных работ на основании этих статистических данных корректно и не требуется дальнейший мониторинг данных по этому типу изделий.

Следующим вычисленным значением является среднеквадратичное отклонение. Для коэффициента поломок изделий шестого типа в таблице 3.13 среднеквадратичное отклонение составляет 0,03090, это означает, что 3 % выбранных значений располагаются вокруг среднего значения, что говорит о наличии нормального распределения в данных.

В группе «Положение центра распределения» были выбраны следующие характеристики.

Рассмотрим характеристику «Среднее значение». Это арифметическое среднее измеренных значений, определяется как сумма значений, деленная на количество. При анализе коэффициента поломок значение получилось 0,1675, что означает 17 изделий из 100 в среднем подлежат ремонту за рассматриваемый период времени, что больше среднего значения по всем другим изделиям (26 изделий).

Следующей характеристикой является медиана, которая определяет точку на шкале измеренных значений, выше и ниже которой лежит по половине всех измеренных значений. В нашем случае для $G(t)$ медиана составляет 0,29, это значит, что все остальные значения относительно этого значения располагаются в одинаковом количестве.

Следующей характеристикой является «мода», которая определяет значение, наиболее часто встречающееся в выборке. В нашем случае мода для $G(t)$ 0,16, что подтверждает гипотезу о 16 % изделий, требующих ремонта в рассматриваемый промежуток времени по этому типу изделий, но так как у данного значения есть уточняющее значение «а», то это указывает, что программе не удалось точно определить значение моды и требуется больше данных для ее определения.

Характеристика «Сумма» определяет суммарное значение изделий, подлежащих ремонту по этому типу изделий. В нашем случае это значение 0,67. Это значение показывает суммарное значение коэффициента поломок по этому типу изделий полигонного оборудования.

В группе «Распределение» задавались характеристики «асимметрия» и «эксцесс». В таблице 3.13 была определена средняя ошибка асимметрии равная 1,014. Это значение является мерой отклонения распределения частоты от симметричного распределения. В нашем случае коэффициент асимметрии означает, что коэффициент поломок недостаточно подчиняется нормальному распределению и так как он положительный, то сдвиг данных идет в сторону увеличения.

Рассмотрим характеристику «эксцесс» (стандартная ошибка эксцесса). При исследовании коэффициента поломок шестого типа изделий он составляет 0,758. Стандартная ошибка эксцесса показывает, является ли распределение пологим (при большом значении коэффициента) или крутым. В нашем случае нормальное распределение является крутым.

В итоге построенная гистограмма нормального распределения, показанная на рисунке 3.21, формирует нормальное распределение по коэффициентам поломок шестого типа изделий и показывает крутой вид этого распределения. Предыдущие статистические характеристики сообщают, что это распределение может учитываться полноценно в анализе технического обслуживания и ремонта для шестого типа изделий и не требуется добавление данных при дальнейшем мониторинге квартальных значений.

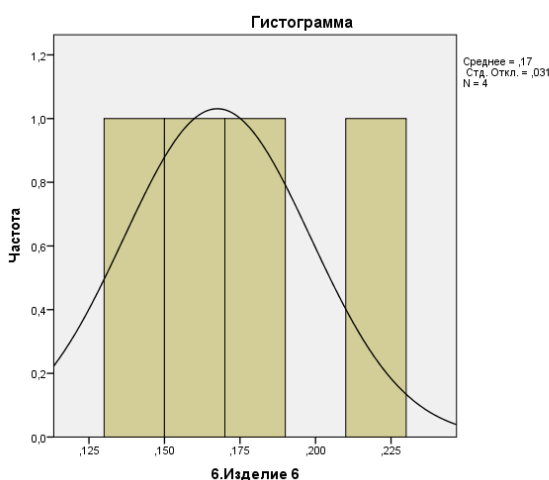


Рисунок 3.21 – Гистограмма нормального закона распределения коэффициента поломок по шестому типу изделий полигонного оборудования

Статистический анализ в программном пакете SPSS позволил получить следующие характеристики по ремонту и техническому обслуживанию радиоуправляемому стрельбищному оборудованию ПСО-Р-* (таблица 3.14).

Таблица 3.14 – Статистические характеристики коэффициента поломок по 7 типу изделий полигонного оборудования

Статистика		
Изделие 7		
N	Валидные	4
	Пропущенные	33
Среднее		,3600
Стандартная ошибка среднего значения		,03240
Медиана		,3550
Мода		,29 ^a
Среднекв. отклонение		,06481
Дисперсия		,004
Асимметрия		,367
Стандартная Ошибка асимметрии		1,014
Эксцесс		-1,040
Стандартная ошибка эксцесса		2,619
Диапазон		,15
Минимум		,29
Максимум		,44
Сумма		1,44
Процентили	25	,3000
	50	,3550
	75	,4250

Из данных анализа можно сделать следующие выводы. Сначала проведем анализ процентилей. В расчете показаны первый, второй и третий проценти (квартили).

В таблице 3.14 получаем, что 25 % данных не выходят за значение коэффициента поломок 0,30, 50 % данных не выходят за значение коэффициента поломок 0,36, 75 % данных не выходят за значение коэффициента поломок

0,43. Это определяет частоту изделий для ремонта на полигонах. В среднем изделие седьмого типа относится к некачественным изделиям с ремонтом, выше среднего, т.е. ремонту подвергается 30 изделий из 100 единиц.

В группе «Разброс» выбираем следующие меры разброса.

Стандартная ошибка среднего отклонения является мерой разброса измеренных величин, она равна квадратному корню из дисперсии. В нашем примере стандартная ошибка среднего отклонения составляет 0,03240, значит за нормальное распределение, выходят только приблизительно 6 % ($0,03 \cdot 2 = 0,06$) значений выборки, что говорит о наличии отклонений значений коэффициента поломок от нормального распределения.

Следующим параметром рассмотрим дисперсию. Дисперсия – квадрат стандартного отклонения, эта характеристика является мерой разброса измеренных величин. В нашем случае дисперсия составляет 0,004, что говорит о незначительном отклонении от среднего значения нормального распределения, это значит, что использование коэффициента поломок как среднеарифметического значения по данным измерениям является корректным, так как отклонение от среднего составляет 0,4 %.

Следующим параметром рассмотрим диапазон. В исследовании разница между изделиями 7, требующими ремонта, составляет 0,15, что означает, что этот тип изделия требует ремонта реже, чем в среднем (0,33) по другим типам изделий. Это означает, что для этих изделий типа 7 ремонтные бригады вызываются редко и необходимость держать на складе на полигоне запасные части для этих изделий существует, изделие относится к относительно качественным.

Но так как данные по седьмому типу изделий подчиняются нормальному распределению из-за стандартной ошибки среднего отклонения на уровне 6 %, то применять меры по организации ремонтных работ на основании этих статистических данных некорректно и требуется дальнейший мониторинг данных по этому типу изделий.

Следующим вычисленным значением является среднеквадратичное отклонение. Для коэффициента поломок изделий шестого типа в таблице 3.14 среднеквадратичное отклонение составляет 0,065, это означает, что 7 % выбранных значений располагаются вокруг среднего значения, что говорит о частичном наличии нормального распределения в данных.

В группе «Положение центра распределения» были выбраны следующие характеристики.

Рассмотрим характеристику «Среднее значение». Это арифметическое среднее измеренных значений, определяется как сумма значений, деленная на количество. При анализе коэффициента поломок значение получилось 0,36, что означает, что 36 изделий из 100 в среднем подлежат ремонту за рассматриваемый период времени, что больше среднего значения по всем другим изделиям (26 изделий).

Следующей характеристикой является медиана, которая определяет точку на шкале измеренных значений, выше и ниже которой лежит по половине всех измеренных значений. В нашем случае для $G(t)$ медиана составляет 0,36, это значит, что все остальные значения относительно этого значения располагаются в одинаковом количестве.

Следующей характеристикой является «мода», которая определяет значение, наиболее часто встречающееся в выборке. В нашем случае мода для $G(t)$ 0,29, что подтверждает гипотезу о 29 % изделий, требующих ремонта в рассматриваемый промежуток времени по этому типу изделий, но так как у данного значения есть уточняющее значение «а», то это указывает, что программе не удалось точно определить значение моды и требуется больше данных для ее определения.

Характеристика «Сумма» определяет суммарное значение изделий, подлежащих ремонту по этому типу изделий. В нашем случае это значение 1,44. Это значение показывает суммарное значение коэффициента поломок по этому типу изделий полигонного оборудования.

В группе «Распределение» задавались характеристики «асимметрия» и «эксцесс». В таблице 3.14 была определена асимметрия равная 0,367. Это значение является мерой отклонения распределения частоты от симметричного распределения. В нашем случае коэффициент асимметрии означает, что коэффициент поломок подчиняется нормальному распределению и так как он положительный, то сдвиг данных идет в сторону увеличения.

Рассмотрим характеристику «эксцесс» (стандартная ошибка эксцесса). При исследовании коэффициента поломок седьмого типа изделий он составляет -1,040. Стандартная ошибка эксцесса показывает, является ли распределение пологим (при большом значении коэффициента) или крутым. В нашем случае нормальное распределение является крутым.

В итоге построенная гистограмма нормального распределения, показанная на рисунке 3.22, формирует нормальное распределение по коэффициентам поломок седьмого типа изделий и показывает крутой вид этого распределения. Предыдущие статистические характеристики сообщают, что это распределение не может учитываться полноценно в анализе технического обслуживания и ремонта для седьмого типа изделий и требуется добавление данных при дальнейшем мониторинге квартальных значений.

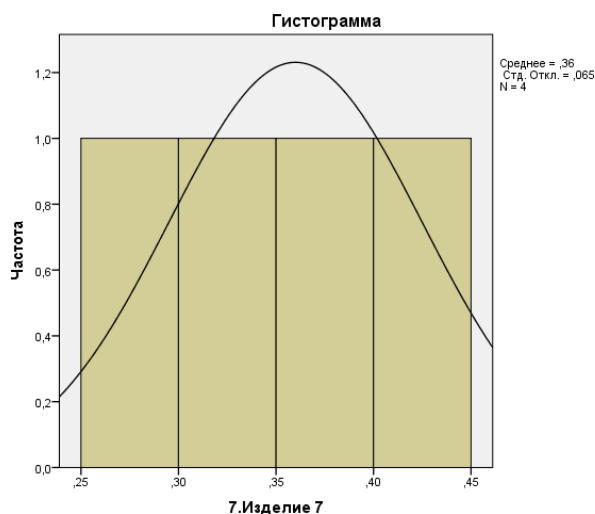


Рисунок 3.22 – Гистограмма нормального закона распределения коэффициента поломок по изделию 7 полигонного оборудования

Статистический анализ в программном пакете SPSS позволил получить следующие характеристики по ремонту и техническому обслуживанию установки для движения двух легких мишеней ДМШ-* (таблица 3.15).

Таблица 3.15 – Статистические характеристики коэффициента поломок по 8 типу изделий полигонного оборудования

Статистика		
Изделие 8		
N	Валидные	4
	Пропущенные	33
Среднее		,2325
Стандартная ошибка среднего значения		,02780
Медиана		,2300
Мода		,17 ^a
Среднекв. отклонение		,05560
Дисперсия		,003
Асимметрия		,223
Стандартная Ошибка асимметрии		1,014
Эксцесс		-,817
Стандартная ошибка эксцесса		2,619
Диапазон		,13
Минимум		,17
Максимум		,30
Сумма		,93
Процентили	25	,1800
	50	,2300
	75	,2875

Из данных анализа можно сделать следующие выводы. Сначала проведем анализ процентилей. В расчете показаны первый, второй и третий процентиля (квартили).

В таблице 3.15 получаем, что 25 % данных не выходят за значение коэффициента поломок 0,18, 50 % данных не выходят за значение коэффициента

поломок 0,23, 75 % данных не выходят за значение коэффициента поломок 0,29. Это определяет частоту изделий для ремонта на полигонах. В среднем изделие восьмого типа относится к качественным изделиям с ремонтом, выше среднего, т.е. ремонту подвергается 18 изделий из 100 единиц.

В группе «Разброс» выбираем следующие меры разброса.

Стандартная ошибка среднего отклонения является мерой разброса измеренных величин, она равна квадратному корню из дисперсии. В нашем примере стандартная ошибка среднего отклонения составляет 0,02780, значит за нормальное распределение, выходят только приблизительно 6% ($0,03*2=0,06$) значений выборки, что говорит о наличии отклонений значений коэффициента поломок от нормального распределения.

Следующим параметром рассмотрим дисперсию. Дисперсия – квадрат стандартного отклонения, эта характеристика является мерой разброса измеренных величин. В нашем случае дисперсия составляет 0,003, что говорит о незначительном отклонении от среднего значения нормального распределения, это значит, что использование коэффициента поломок как среднеарифметического значения по данным измерениям является корректным, так как отклонение от среднего составляет 0,3 %.

Следующим параметром рассмотрим диапазон. В исследовании разница между изделиями 8, требующими ремонта, составляет 0,13, что означает, что этот тип изделия требует ремонта реже, чем в среднем (0,33) по другим типам изделий. Это означает, что для этих изделий типа 8 ремонтные бригады вызываются редко и необходимость держать на складе на полигоне запасные части для этих изделий существует, изделие относится к относительно качественным.

Но так как данные по восьмому типу изделий подчиняются нормальному распределению из-за стандартной ошибки среднего отклонения на уровне 6 %, то применять меры по организации ремонтных работ на основании этих

статистических данных некорректно и требуется дальнейший мониторинг данных по этому типу изделий.

Следующим вычисленным значением является среднеквадратичное отклонение. Для коэффициента поломок изделий восьмого типа в таблице 3.15 среднеквадратичное отклонение составляет 0,05560, это означает, что 6 % выбранных значений располагаются вокруг среднего значения, что говорит о частичном наличии нормального распределения в данных.

В группе «Положение центра распределения» были выбраны следующие характеристики.

Рассмотрим характеристику «Среднее значение». Это арифметическое среднее измеренных значений, определяется как сумма значений, деленная на количество. При анализе коэффициента поломок значение получилось 0,2325, что означает, что 23 изделия из 100 в среднем подлежат ремонту за рассматриваемый период времени, что меньше среднего значения по всем другим изделиям (26 изделий).

Следующей характеристикой является медиана, которая определяет точку на шкале измеренных значений, выше и ниже которой лежит по половине всех измеренных значений. В нашем случае для $G(t)$ медиана составляет 0,36, это значит, что все остальные значения относительно этого значения располагаются в одинаковом количестве.

Следующей характеристикой является «мода», которая определяет значение, наиболее часто встречающееся в выборке. В нашем случае мода для $G(t)$ 0,23, что подтверждает гипотезу о 23 % изделий, требующих ремонта в рассматриваемый промежуток времени по этому типу изделий, но так как у данного значения есть уточняющее значение «а», то это указывает, что программе не удалось точно определить значение моды и требуется больше данных для ее определения.

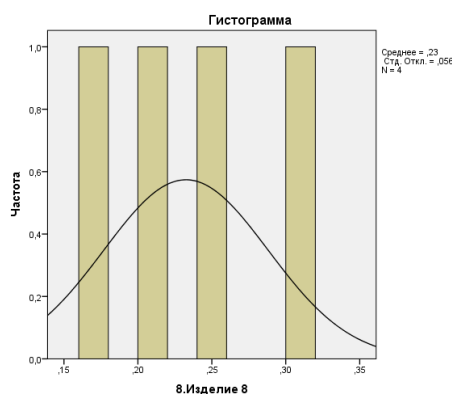
Характеристика «Сумма» определяет суммарное значение изделий, подлежащих ремонту по этому типу изделий. В нашем случае это значение 0,93.

Это значение показывает суммарное значение коэффициента поломок по этому типу изделий полигонного оборудования.

В группе «Распределение» задавались характеристики «асимметрия» и «эксцесс». В таблице 3.15 была определена асимметрия равная 0,223. Это значение является мерой отклонения распределения частоты от симметричного распределения. В нашем случае коэффициент асимметрии означает, что коэффициент поломок подчиняется нормальному распределению и так как он положительный, то сдвиг данных идет в сторону увеличения.

Рассмотрим характеристику «эксцесс» (стандартная ошибка эксцесса). При исследовании коэффициента поломок восьмого типа изделий он составляет -0,817. Стандартная ошибка эксцесса показывает, является ли распределение пологим (при большом значении коэффициента) или крутым. В нашем случае нормальное распределение является пологим.

В итоге построенная гистограмма нормального распределения, показанная на рисунке 3.23, формирует нормальное распределение по коэффициентам поломок восьмого типа изделий и показывает пологий вид этого распределения. Предыдущие статистические характеристики сообщают, что это распределение может учитываться полноценно в анализе технического обслуживания и ремонта для изделий 8 и не требуется добавление данных при дальнейшем мониторинге квартальных значений.



Рисунке 3.23 – Гистограмма нормального закона распределения коэффициента поломок по изделию 8 полигонного оборудования

Статистический анализ в программном пакете SPSS позволил получить следующие характеристики по ремонту и техническому обслуживанию ротного тактического комплекса РТК - * (таблица 3.16).

Таблица 3.16 – Статистические характеристики коэффициента поломок по изделию 9 полигонного оборудования

Статистика		
Изделие 9		
N	Валидные	4
	Пропущенные	33
Среднее		,4375
Стандартная ошибка среднего значения		,04498
Медиана		,4350
Мода		,33 ^a
Среднекв. отклонение		,08995
Дисперсия		,008
Асимметрия		,166
Стандартная Ошибка асимметрии		1,014
Эксцесс		1,454
Стандартная ошибка эксцесса		2,619
Диапазон		,22
Минимум		,33
Максимум		,55
Сумма		1,75
Процентили	25	,3550
	50	,4350
	75	,5225

Из данных анализа можно сделать следующие выводы. Сначала проведем анализ процентилей. В расчете показаны первый, второй и третий процентиля (квартили).

В таблице 3.16 получаем, что 25 % данных не выходят за значение коэффициента поломок 0,36, 50 % данных не выходят за значение коэффициента поломок 0,44, 75 % данных не выходят за значение коэффициента поломок

0,52. Это определяет частоту изделий для ремонта на полигонах. В среднем изделие девятого типа относится к некачественным изделиям с ремонтом, выше среднего, т.е. ремонту подвергается 36 изделий из 100 единиц.

В группе «Разброс» выбираем следующие меры разброса.

Стандартная ошибка среднего отклонения является мерой разброса измеренных величин, она равна квадратному корню из дисперсии. В нашем примере стандартная ошибка среднего отклонения составляет 0,045, значит за нормальное распределение, выходят только приблизительно 10 % ($0,05 \cdot 2 = 0,10$) значений выборки, что говорит о значительном наличии отклонений значений коэффициента поломок от нормального распределения.

Следующим параметром рассмотрим дисперсию. Дисперсия – квадрат стандартного отклонения, эта характеристика является мерой разброса измеренных величин. В нашем случае дисперсия составляет 0,008, что говорит о незначительном отклонении от среднего значения нормального распределения, это значит, что использование коэффициента поломок как среднеарифметического значения по данным измерениям является корректным, так как отклонение от среднего составляет 0,8 %.

Следующим параметром рассмотрим диапазон. В исследовании разница между изделиями 9, требующими ремонта, составляет 0,22, что означает, что этот тип изделия требует ремонта реже, чем в среднем (0,33) по другим типам изделий. Это означает, что для изделий 9 ремонтные бригады вызываются часто и необходимость держать на складе на полигоне запасные части для этих изделий существует, изделие относится к относительно качественным.

Но так как данные по девятому типу изделий подчиняются нормальному распределению из-за стандартной ошибки среднего отклонения на уровне 10 %, то применять меры по организации ремонтных работ на основании этих статистических данных некорректно и требуется дальнейший мониторинг данных по этому типу изделий.

Следующим вычисленным значением является среднеквадратичное отклонение. Для коэффициента поломок изделий девятого типа в таблице 17 среднеквадратичное отклонение составляет 0,08995, это означает, что 9 % выбранных значений располагаются вокруг среднего значения, что говорит о частичном наличии нормального распределения в данных.

В группе «Положение центра распределения» были выбраны следующие характеристики.

Рассмотрим характеристику «Среднее значение». Это арифметическое среднее измеренных значений, определяется как сумма значений, деленная на количество. При анализе коэффициента поломок значение получилось 0,4375, что означает, что 44 изделия из 100 в среднем подлежат ремонту за рассматриваемый период времени, что больше среднего значения по всем другим изделиям (26 изделий).

Следующей характеристикой является медиана, которая определяет точку на шкале измеренных значений, выше и ниже которой лежит по половине всех измеренных значений. В нашем случае для $G(t)$ медиана составляет 0,44, это значит, что все остальные значения относительно этого значения располагаются в одинаковом количестве.

Следующей характеристикой является «мода», которая определяет значение, наиболее часто встречающееся в выборке. В нашем случае мода для $G(t)$ 0,33, что подтверждает гипотезу о 33 % изделий, требующих ремонта в рассматриваемый промежуток времени по этому типу изделий, но так как у данного значения есть уточняющее значение «а», то это указывает, что программе не удалось точно определить значение моды и требуется больше данных для ее определения.

Характеристика «Сумма» определяет суммарное значение изделий, подлежащих ремонту по этому типу изделий. В нашем случае это значение 1,75. Это значение показывает суммарное значение коэффициента поломок по этому типу изделий полигонного оборудования.

В группе «Распределение» задавались характеристики «асимметрия» и «эксцесс». В таблице 3.16 была определена стандартная ошибка асимметрии равная 1,014. Это значение является мерой отклонения распределения частоты от симметричного распределения. В нашем случае коэффициент асимметрии означает, что коэффициент поломок не подчиняется нормальному распределению и так как он положительный, то сдвиг данных идет в сторону увеличения.

Рассмотрим характеристику «эксцесс» (стандартная ошибка эксцесса). При исследовании коэффициента поломок девятого типа изделий он составляет 1,454. Стандартная ошибка эксцесса показывает, является ли распределение пологим (при большом значении коэффициента) или крутым. В нашем случае нормальное распределение является пологим.

В итоге построенная гистограмма нормального распределения, показанная на рисунке 3.24, формирует нормальное распределение по коэффициентам поломок девятого типа изделий и показывает пологий вид этого распределения. Предыдущие статистические характеристики сообщают, что это распределение не может учитываться полноценно в анализе технического обслуживания и ремонта для девятого типа изделий и требуется добавление данных при дальнейшем мониторинге квартальных значений.

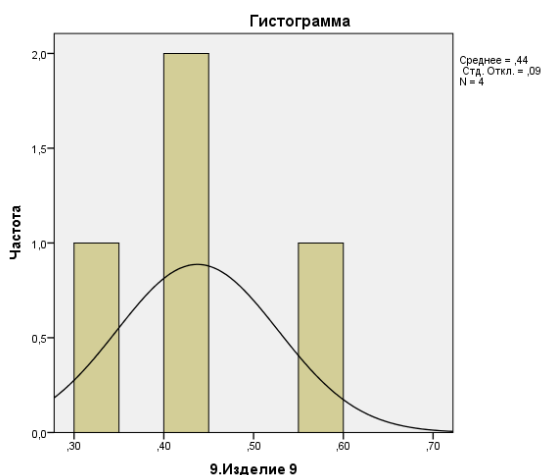


Рисунок 3.24 – Гистограмма нормального закона распределения коэффициента поломок по изделию 9 полигонного оборудования

Проведенный анализ по всем типам полигонного оборудования выявил стратегию проведения ремонта на полигонах по каждому типу изделий, а также позволил определить качество используемых изделий.

Данный коэффициент позволяет выявить необходимое и достаточное условие ремонта изделия полигонного оборудования на полигоне.

Необходимо, чтобы количество процессов ТОиР было минимальным с учетом коэффициента поломок по всем деталям, т. е.

$$G = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J G_{ni}^j(t) \rightarrow \min,$$

где i – количество полигонного оборудования; j – количество комплектующих в i -м полигонном оборудовании.

Тогда необходимое и достаточное условие ремонта изделия на полигоне будет следующее:

$$\forall i = \{1, 2\}, j = \{1, \dots, 4\} (N_{ij} \geq 3 \rightarrow G_i^j \leq G_{spi}^j).$$

Таким образом, при коэффициенте поломок меньше среднего коэффициента по изделиям возможно проведение сервисного обслуживания на полигоне. В остальных случаях требуется либо проведение заводского ремонта изделия, либо оформляется мотивированный отказ в принятии его на сервисное обслуживание.

3.3 Выводы по главе

1. Предложен метод настройки параметров модели процесса технического обслуживания и ремонта, в основе которого применяется коэффициент, показывающий степень поломок по конкретному изделию за определенный промежуток времени.

Использование предлагаемого коэффициента направлено на повышение уровня систематизации процесса ТОиР полигонного оборудования в местах базирования, а также на улучшение качества в методике прогнозирования сро-

ков работ и их длительности, на более детальное отслеживание эффективности подбора выездных бригад.

2. Путем сопоставления средних коэффициентов поломок за год проведен анализ эффективности организации по выполнению ремонтных работ отдельно взятого изделия.

3. Определена возможность проведения процесса ТОиР на месте базирования. При коэффициенте поломок меньше среднего коэффициента по изделиям возможно проведение сервисного обслуживания на полигоне, в остальных случаях требуется либо проведение заводского ремонта изделия либо оформляется мотивированный отказ в принятии его на сервисное обслуживание.

4 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПОЛИГОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТАННОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ

4.1 Метод настройки параметров модели с адаптацией под реальные ремонтные процессы

Производственный процесс ТОиР полигонного оборудования входит в организационно-техническую систему (ОТС) организации производства с наличием ремонтных бригад. Кроме того, наличие человека в ОТС приводит к активности управляемых объектов, а также в неопределенности в их действиях.

Активность лица, принимающего решения (ЛПР) в ОТС возникает из-за способности предвидеть результаты своих действий с учетом этого выбирать стратегию поведения. В итоге, действий ЛПР в целом представляют сложное явление со свойствами: целенаправленность, структурность и стохастичность.

Целенаправленность связана с активностью. Структурность связана с логической, предметной и операционной сложностью ОТС управления ТОиР полигонного оборудования. Стохастичность связана с активностью. Стохастичность связана с неопределенностью смены состояний в системе, а также с наличием влияния окружающей среды [82-101].

Рассматриваемая ОТС ТОиР полигонного оборудования основана на сетевой модели, которая представляет собой направленный граф.

При разработке конкретных действий для ЛПР будем опираться на основные свойства сетевой модели как специального графа.

Моделирование действий для ЛПР в ОТС ТОиР полигонного оборудования основано на принципах:

- 1) последовательного анализа;
- 2) априорной формализации;
- 3) последовательного синтеза.

Под структурой деятельности будем понимать граф $G = (X, A)$ со множеством вершин x_1, x_2, \dots, x_n и множеством ребер a_1, a_2, \dots, a_n , обозначенных соответственно X и A .

Синтез такого графа основан на операциях соединения и обобщения. Обобщения есть синтез структур высокого уровня из структур нижнего уровня, то есть это операция получения графа из более конкретных (минимальных) графов.

Рассмотрим матрицу следующего вида:

$$R_1 = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}.$$

Эта матрица определяет ситуацию распределения работ по рабочим: в строках – работы, в столбцах – рабочие, т.е. эта матрица описывает ситуацию, когда 1 работу выполняет 2-й рабочий.

Рассмотрим матрицу следующего вида:

$$R_2 = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{vmatrix}.$$

Эта матрица определяет следующий вариант распределения: 1-ю работу могут выполнять 2-й и 3-й рабочий, 2-ю работу только 3-ю рабочий, а 3 работу может выполнить только 3-й рабочий. В итоге, эта матрица соответствует однозначному распределению: 1-я работа – 2-й рабочий; 2-я работа – 3-й рабочий; 3-я работа – 1-й рабочий.

Рассмотрим матрицу следующего вида:

$$R_3 = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{vmatrix}.$$

Эта матрица связана со следующими данными: в строках - 2 и 3 работа, в столбцах - 2 и 3 рабочие. Эта матрица определяет следующий вариант распределения: 2 работа – 3 рабочий, 3 работа – 2 рабочий.

Для выполнения операций обобщения формируется базисная матрица путем объединения индексов строк и столбцов. В итоге, имеем матрицу вида

$$R_0 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}.$$

Эта матрица объединяет три работы с тремя рабочими, все элементы матрицы обобщения – нули. Далее обобщаемы матрицы дополняются до R_0 приписыванием одноименных строк и столбцов. В итоге для трех матриц распределения в ОТС имеем матрицы

$$R_{01} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}; R_{02} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{vmatrix}; R_{03} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}.$$

Суммируя матрицы, получаем

$$R = \bigoplus_{i=1}^3 R_i = \begin{vmatrix} 0 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 2 \\ 1 & 1 & 0 \end{vmatrix}.$$

Это матрица смежности обобщенного графа, 0 – обобщение.

С учетом этой теории перейдем к рассмотрению иерархии структурных моделей функционирования ОТС ТООИР полигонного оборудования на основе графа. Пусть при формализации и типизации объектов управления определены l работ (операций) в производственном процессе ТООИР полигонного оборудования и m режимов работы ЛПР (то есть назначение выполнения работы конкретному рабочему с оборудованием). Причем в силу неопределенности ситуации выполнение i -й работы ($i = 1, l$) r -м рабочим ($r = 1, m$) возможно n способами, так как j -й способ ($j = 1, n$) выбирается в зависимости от обстановки в воинской части, либо из числа формализованных решений в базе данных, либо благодаря своему опыту.

Иначе говоря, назначение i -й работы r -му рабочему с оборудованием решается ЛПР по вероятностному алгоритму, каждая i -я реализация которого

осуществляется с некоторой частотой f_{rij} , определенной на группе n несовместимых реализаций и представляет собой последовательность конечного числа элементарных действий. Формализуя действия j -й реализации i -го алгоритма в алфавите символов, можно построить граф, вершины которого действия, а ребра – переходы между операциями. Этому графу соответствует матрица смежности A_{rij} , строки и столбцы обозначают работы и рабочих с оборудованием и инструментами, которых назначает ЛПР в j -м назначении, а элементы a_{pq} означают частоту перехода от действий по работе p к действиям рабочего q с оборудованием, значения $a_{pq} = 1, 2, \dots$

Пусть для i -й работы, выполняемой g -м рабочим, перечислено конечное число n действий и для них определены элементы матрицы A_{rij} , а также частоты f_{rij} этих действий. В этом случае можно составить матрицу R_{ri} , описывающую вероятностный алгоритм назначения i -й работы g -му рабочему:

$$R_{ri} = \bigcirc_{i=1}^n A_{rij} f_{rij}.$$

Аналогично получается матрица C_r для каждого рабочего:

$$C_r = \bigcirc_{i=1}^n R_{ri} f_{ri} O Z_v,$$

где f_{ri} – частота назначения для выполнения i -й работы g -м рабочим, Z_v – матрица переходов от работы к работе g -м рабочим.

Матрица F действий ЛПР для всех работ, то есть матрица всех назначений ЛПР имеет вид:

$$F = \bigcirc_{r=1}^m C_r f_r O Z,$$

где Z – матрица переходов от рабочего к рабочему; f – частота назначений g -го для выполнения работы ЛПР.

В матричной форме структурно формализованную модель действий ЛПР можно представить в виде

$$F = \prod_{r=1}^m \left[\prod_{i=1}^l \left(\prod_{j=1}^n A_{rij} f_{rij} \right) f_{ri} OZ_{ri} \right] f_r OZ_r.$$

Если задачу календарно-оперативного планирования (ОКП) процесса ТОиР полигонного оборудования будет решать коллектив ЛПР и для k -го ЛПР ($k = 1, E$) известна матрица его индивидуальных предпочтений F_k , тогда матрица коллективных назначений примет вид

$$D_k = \prod_{k=1}^E F_k.$$

Структурно-формализованная модель коллективной деятельности ЛПР в матричном виде примет вид

$$D_k = \prod_{k=1}^E \left\{ \prod_{r=1}^m \left[\prod_{i=1}^l \left(\prod_{j=1}^n A_{krij} f_{krij} \right) f_{kri} OZ_{kri} \right] f_{kr} OZ_k \right\} \times f_k OZ,$$

где добавление k означает принадлежность к k -му ЛПР в ОТС ТОиР полигонного оборудования. Если внутри ОТС при оперативно-календарном планировании используются случайные соединения с повторением структур и переходами, то при планировании имеется более одной реализации плана. В этом случае будем рассматривать соединения с переходами и повторениями.

Число реализаций при количестве рабочих $m=Q$ всего C_Q^Q , реализаций типа перехода $Q!$, а число всех типов реализаций $L = Q^Q$, количество переходов с повторениями будет $L = Q^Q - (Q! + Q)$. В этом случае полная вероятность перехода от работы к работе (то есть i/j - перехода)

$$P_{i/j} = \frac{1}{Q^2} (Q - 1) = P_{ij} (Q - 1).$$

Это выражение справедливо для любых условий, лишь бы была известна матрица совместного распределения вероятностей функциональных компонент.

В итоге матрица возможных распределений в оперативно-календарном планировании ТОиР полигонного оборудования представляет матрицу Маркова порядка $Q+1$ и имеет вид, показанный на рисунке 4.1.

$$R_0 = \begin{bmatrix} P_{II}(Q-1)Z_{II}^* + P_IQR_I & P_{III}(Q-1)Z_{III}^* & \dots & P_{IJ}(Q-1)Z_{IJ}^* & P_{IQ}(Q-1)Z_{IQ}^* & P_{IfebIX}^* Z_{IfebIX}^* \\ P_{III}(Q-1)Z_{II}^* & P_{III}(Q-1)Z_{III}^* + P_{II}QR_{II} & \dots & P_{IJ}(Q-1)Z_{IJ}^* & P_{IIQ}(Q-1)Z_{IIQ}^* & P_{IfebIX}^* Z_{IfebIX}^* \\ P_{il}(Q-1)Z_{il}^* & P_{III}(Q-1)Z_{III}^* & \dots & P_{ij}(Q-1)Z_{ij}^* + P_IQR_i & P_{iQ}(Q-1)Z_{iQ}^* & P_{IfebIX}^* Z_{IfebIX}^* \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{QI}(Q-1)Z_{QI}^* & P_{QII}(Q-1)Z_{QII}^* & \dots & P_{Qj}(Q-1)Z_{Qj}^* & P_{QQ}(Q-1)Z_{QQ}^* + P_QQR_Q & P_{QfebIX}^* Z_{QfebIX}^* \\ P_{exI}^* Z_{exI} & P_{exII}^* Z_{exII} & \dots & P_{exj}^* Z_{exj} & P_{exQ}^* Z_{exQ} & \dots \end{bmatrix}$$

Рисунок 4.1 – Матрица переходов в общем виде по Маркову при условии ресурсной свободы

4.2 Имитационная модель процесса технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования на примере конкретной организационно-технической системы

Рассмотрим моделирование ОТС процесса ТОиР полигонного оборудования на основе матрицы переходов Маркова в случае назначения четырех работ ремонтной бригаде из четырех рабочих.

Матрица переходов по Маркову в общем виде, показанная на рисунке 4.1: по строкам – работы в ТОиР, по столбцам – рабочие с оборудованием, на пересечении – функция эффекта от назначения конкретному рабочему конкретной работы.

Функция эффекта от назначения имеет вид

$$F_s = P_{lm}(Q-1)Z_{lm}^* + P_lQR_m, l \in [I, II, \dots, i, \dots, Q, \text{ex}], m \in [I, II, \dots, j, \dots, Q, \text{вix}], \quad (4.1)$$

где P_{lm} – равная вероятность наступления события; $(Q-1)$ – количество переходов; Z_{lm}^* – подматрица соединений; P_l – конкретная вероятность наступления события; Q – переход; R_m – случайное соединение.

Рассмотрим применение матрицы переходов к процессу ТОиР. Пусть при ремонте надо выполнить 4 работы:

работа 1 – диагностирование технического состояния изделия;

работа 2 – устранение неисправностей;

работа 3 – закупка комплектующих и материалов;

работа 4 – техническое обслуживание на исправленном оборудовании (тестирование после ремонта).

Работы, выполняемые одним исполнителем, могут идти не только последовательно, но и повторяться в различных сочетаниях, т.е. функции исхода опытов могут быть следующие (рисунок 4.2).

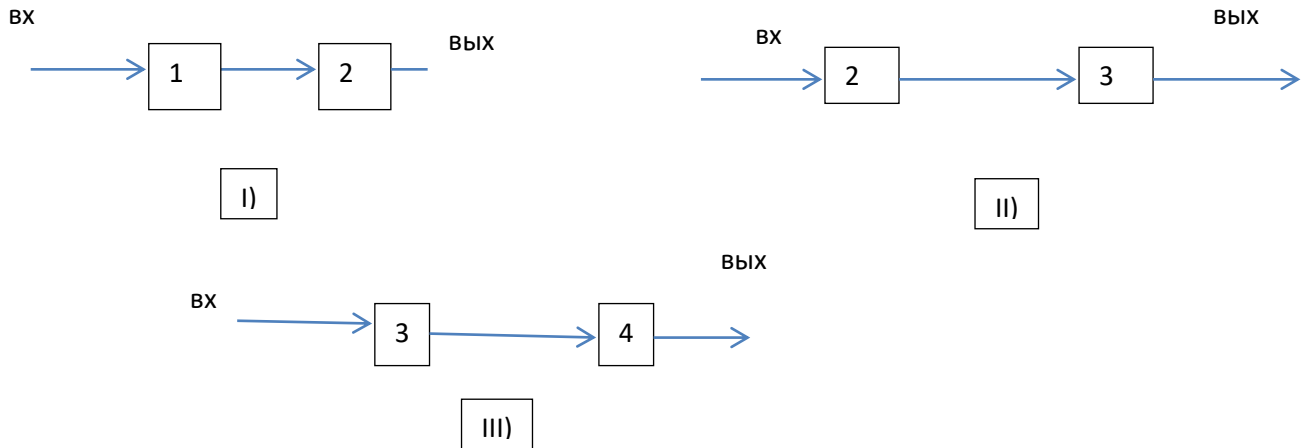


Рисунок 4.2 – Функции исхода опытов:

I – I ситуация по работам; II – II ситуация по работам;

III – III ситуация по работам

I ситуация по работам означает, что в оперативно-календарном планировании используется следующая последовательность действий: сначала выполняется первая работы, затем вторая работа и производственный процесс ТОиР заканчивается. Это соответствует ситуации: диагностирование технического состояния одного конкретного изделия полигонного оборудования и устранение его неисправностей.

II ситуация по работам означает следующую последовательность в оперативно-календарном планировании: выполняем только вторую и третью работы последовательно, то есть возникла ситуация устранения неисправностей с закупкой комплектующих и материалов.

III ситуация по работам означает в оперативно-календарном планировании следующую цепочку: закупка комплектующих и материалов с тестированием конкретного изделия полигонного оборудования после ремонта.

Из этих элементов ОТС не следует никакой информации о частоте исходных дуг. Такую информацию можно получить из того, что частота есть функция положительных исходов работ. Эту информацию можно получить априори по комбинациям предыдущих логически принимаемых решений из

БД. Каждая реализация есть путь в графе от входа (вх) к выходу (вых). Сколько путей столько будет и вариантов принимаемых ЛПР решений.

Для разработки имитационных моделей процесса ТОиР полигонного оборудования за счет структурного синтеза ОТС будем использовать элементы оперативно-календарного планирования из рисунка 4.2.

Если на полигоне придется повторять ремонтные работы, то возникает ситуация переходов и повторений, тогда при формировании имитационной модели существует $L = 3^3 = 27$ соединений и структур из рисунка 4.2.

Разберем эти ситуации (рисунок 4.3).

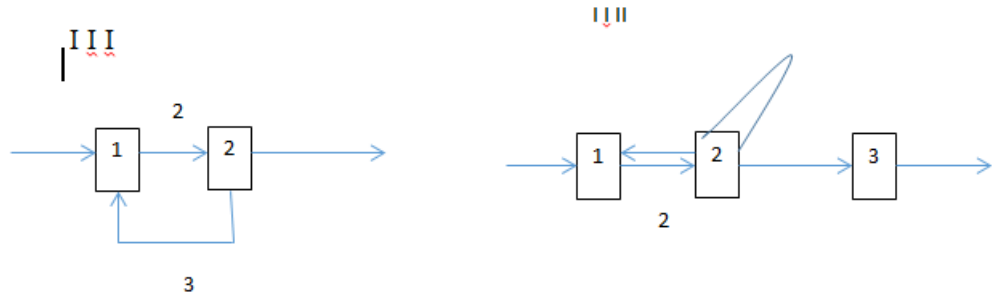


Рисунок 4.3 – Соединения работ при повторных вариантах и переходах I I I и I I II

Ситуация I I I означает следующую последовательность работ: сделали первую работу, затем вторую работу, но пришлось еще раз вернуться к первой, затем сделать вторую работу.

Ситуация I I II означает следующую последовательность работ: сделали первую работу, затем вторую работу, но пришлось еще раз вернуться к первой, затем сделать вторую работу, затем только перешли к третьей.

На рисунке 4.4 показаны варианты переходов I II I и II I I.

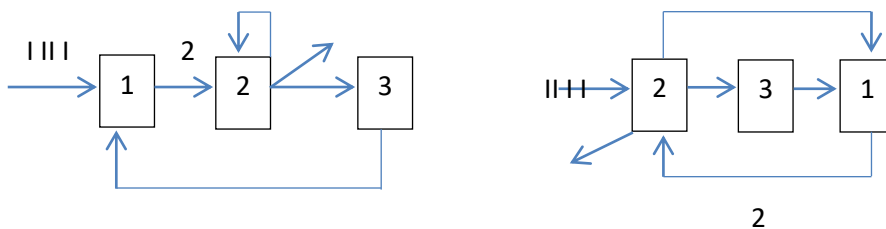


Рисунок 4.4 – Соединения работ при повторных вариантах и переходах I II I и II I I

Ситуация I II I означает следующую последовательность работ: сначала диагностируем технические неисправности, затем устраняем множество неисправностей с заменой комплектующих и материалов на полигоне, затем возвращаемся к диагностированию следующей неисправности.

Ситуация II I I означает следующую последовательность работ: устраняем неисправность либо на полигоне, либо на заводе-изготовителе, затем покупаем комплектующие и материалы, затем возвращаемся к диагностированию неисправностей следующего изделия, после устраняем неисправность по следующему изделию.

На рисунке 4.5 показаны варианты переходов I I III и I III I.

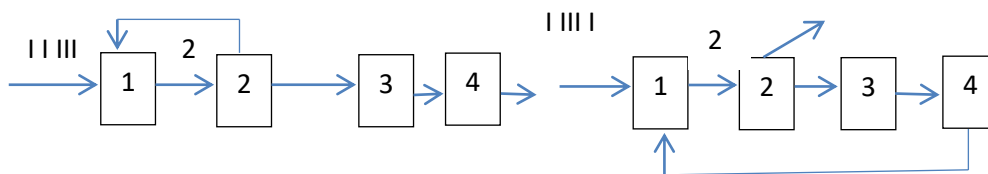


Рисунок 4.5 – Соединения работ при повторных вариантах и переходах I I III и I III I

Ситуация I I III означает следующую последовательность работ: выполняем все четыре работы последовательно, но может добавиться ситуация с возвратом после устранения неисправностей к следующему изделию.

Ситуация I III I означает следующую последовательность работ: выполняем все четыре работы последовательно, но после устранения неисправностей идет отправка на завод для проверки, так как наиболее ответственное изделие, а после тестирования переходим к следующему изделию с неисправностями.

На рисунке 4.6 показаны варианты переходов II II I и II I II.

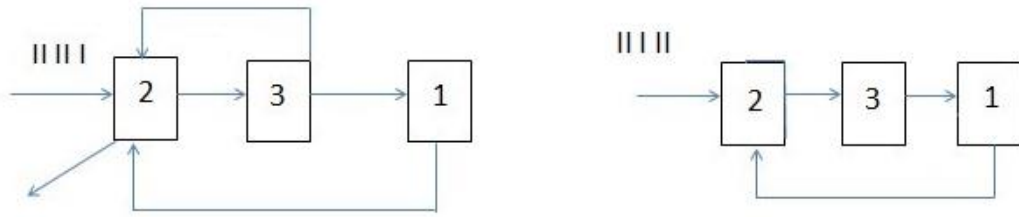


Рисунок 4.6 – Соединения работ при повторных вариантах и переходах II II I и II I II

Ситуация II II I означает следующую последовательность работ: устранением неисправности с закупкой нескольких комплектующих и материалов, затем диагностируем следующее изделие с устранением неисправностей с отправкой нескольких на завод-изготовитель.

Ситуация II I II означает следующую последовательность работ: устранением несколько неисправностей по изделиям с закупкой комплектующих и оборудования, некоторые специфические изделия ремонтируем с обращением на завод-изготовитель, затем переходим к работе со следующим изделием.

На рисунке 4.7 показаны варианты переходов I II I и II I I.

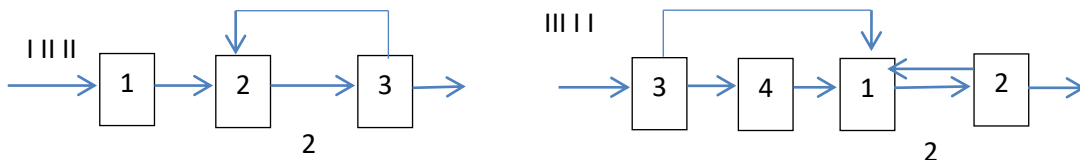


Рисунок 4.7 – Соединения работ при повторных вариантах и переходах I II II и III I I

Ситуация I II II возникает, когда много закупок комплектующих и материалов.

Ситуация III I I возникает, когда много неисправностей.

На рисунке 4.8 показаны варианты переходов III III I и III I III.

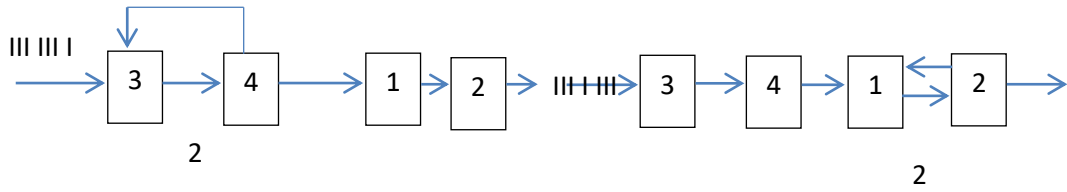


Рисунок 4.8 – Соединения работ при повторных вариантах и переходах III III I и III I III

Ситуация III III I возникает, когда проводится исследование комплектующих и материалов от нескольких поставщиков по нескольким изделиям.

Ситуация III I III возникает, когда существует множество неисправностей с закупками.

На рисунке 4.9 показаны варианты переходов I III III и I II III.

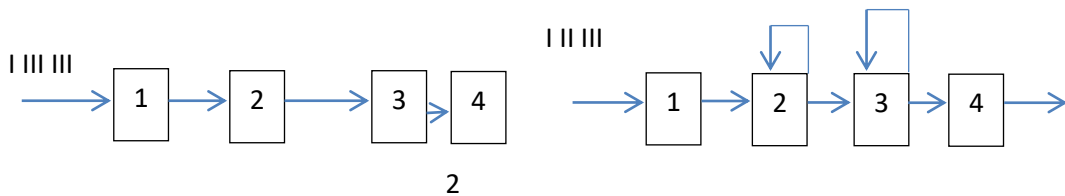


Рисунок 4.9 – Соединения работ при повторных вариантах и переходах I III III и I II III

Ситуация I III III возникает при множественном тестировании из-за некачественных комплектующих и материалов.

Ситуация I II III возникает при необходимости множества повторных ремонтов неисправностей, а также некачественных комплектующих и материалов.

На рисунке 4.10 показаны варианты переходов II I III и II III I.

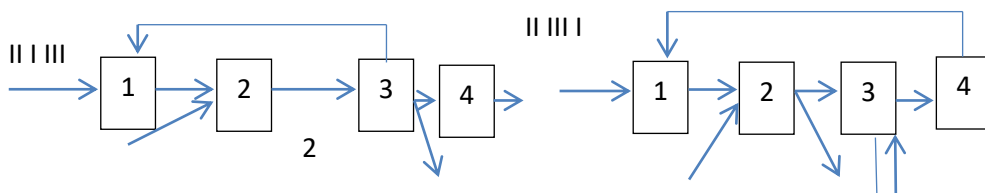


Рисунок 4.10 – Соединения работ при повторных вариантах и переходах II I III и II III I

Ситуация II I III означает следующее: сначала прибытие исправленного ПО с завода с закупленными новыми комплектующими и опять нужно проводить ремонт (невозможно возникновение этой ситуации в ОКП).

Ситуация II III I возникает при выявлении неисправностей после ремонта на этапе диагностирования.

На рисунке 4.11 показаны варианты переходов I III II и III I II.

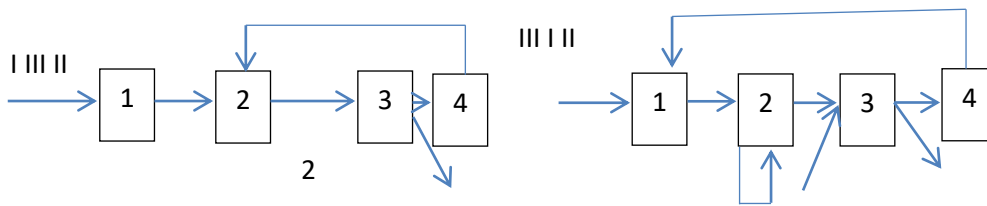


Рисунок 4.11 – Соединения работ при повторных вариантах и переходах I III II и III I II

Ситуация I III II возникает, когда неисправность отслеживается после тестирования, затем следует отправка на завод – изготовитель.

Ситуация III I II возникает, когда много ремонтных операций, но комплектующие и материалы ждем с завода-изготовителя, после тестируем и опять отправляем на ремонт (такой ситуации в ОКП процессов ТОиР полигонного оборудования не было).

На рисунке 4.12 показаны варианты переходов III II I и II II II.

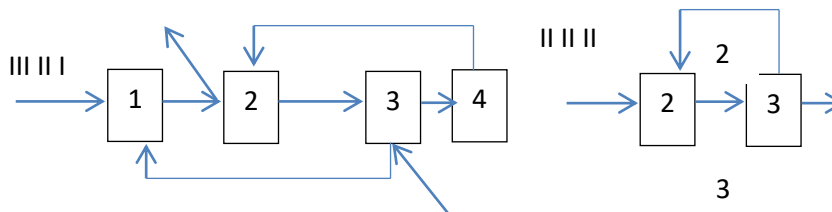


Рисунок 4.12 – Соединения работ при повторных вариантах и переходах III II I и II II II

Ситуация III II I означает следующую последовательность работ: сначала устраняем неисправности на заводе-изготовителе, комплектующие закупает завод – изготовитель, ремонт частично доделываем на полигоне, после сборки изделие тестируем, опять выявляем недостатки (такой ситуации в ОКП процессов ТОиР полигонного оборудования не было).

Ситуация II II II означает следующие действия: множественность закупок материалов и комплектующих для устранения неисправностей.

На рисунке 4.13 показаны варианты переходов II II III и II III II.

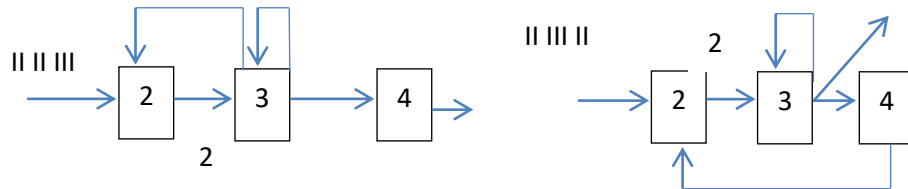


Рисунок 4.13 – Соединения работ при повторных вариантах и переходах II II III и II III II

Ситуация II II III возникает при множестве неисправностей с множественными закупками комплектующих и материалов.

Ситуация II III II означает следующую последовательность работ: устраняем неисправность с использованием закупки материалов и оборудования на месте и привозим с завода – изготовителя, после тестирования опять выявляется неисправность (такой ситуации в ОКП процессов ТОиР полигонного оборудования не было).

На рисунке 4.14 показаны варианты переходов III II II и III III III.

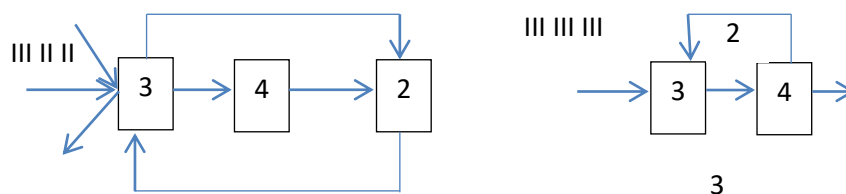


Рисунок 4.14 – Соединения работ при повторных вариантах и переходах III II II и III III III

Ситуация III II II означает следующую последовательность работ: сначала проводим много закупок комплектующих и материалов с завода-изготовителя и на месте, после тестирования опять выявляем неисправность, проводим поиск других поставщиков, но сначала априори закупки.

Ситуация III III III означает следующую последовательность работ: после тестирования проводим новые закупки материалов и комплектующих.

На рисунке 4.15 показаны варианты переходов III III II и III II III.

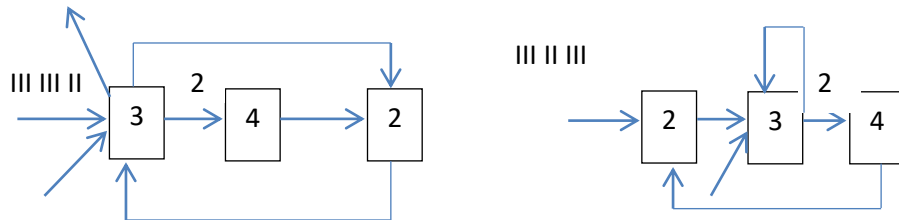


Рисунок 4.15 – Соединения работ при повторных вариантах и переходах III III II и III II III

Ситуация III III II похожа на ситуацию III II II, но осуществляются после устранения неисправностей (такой ситуации в ОКП процессов ТОиР полигонного оборудования не было).

Ситуация III II III означает следующую последовательность работ: устраняем неисправность, комплектующие берем со склада на военном полигоне и после тестирования возвращаемся к ремонту.

На рисунке 4.16 показан вариант перехода II III III.

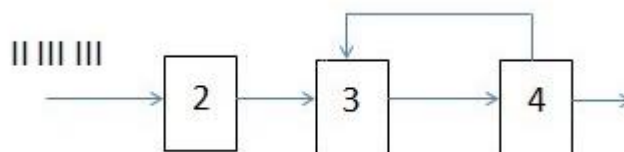


Рисунок 4.16 – Соединения работ при повторных вариантах и переходах II III III

Ситуация II III III означает следующую последовательность работ: наличие плохих поставщиков, поэтому проводим множественный поиск комплектующих и материалов (такой ситуации в ОКП процессов ТООР полигонного оборудования не было).

Далее надо для всех вариантов ОКП и их работ подобрать оптимальное назначение рабочих с учетом их опыта и квалификации. Для назначения рабочих во всех соединениях надо использовать матрицу переходов Маркова, рассмотренную ранее.

Сформируем матрицу переходов для четырех рабочих из ТООР. В качестве функции эффекта в матрице примем следующую функцию:

$$F_3 = K \cdot P \cdot TP, \quad (4.2)$$

где $K = [K_i]$ – массив квалификаций i -го рабочего; $P = [P_{ij}]$ – матрица вероятностей выполнения I -м рабочим j -работы; $TP = [TP_{ij}]$ – матрица трудоемкость при выполнении I -м рабочим j -й работы; $i \in [1, \dots, 4]$ – количество работ; $j \in [I, \dots, IV]$ – количество рабочих.

Рассмотрим данные по четырем рабочим из ТООР. Пусть у рабочих будут следующие приведенные квалификации: $K_1 = 0,2$; $K_2 = 0,4$; $K_3 = 0,3$; $K_4 = 0,1$, то есть у второго рабочего самая высокая квалификация.

Средняя трудоемкость выполнения работ следующая: $TP_I^{cp} = 6ч.$, $TP_{II}^{cp} = 10ч.$, $TP_{III}^{cp} = 14ч.$, $TP_{IV}^{cp} = 7ч.$, тогда нормированная трудоемкость по работам относительно общего выполнения работ будет следующая: $TP_I^u = 6/37 = 0,16$, $TP_{II}^u = 0,27$, $TP_{III}^u = 0,38$, $TP_{IV}^u = 0,19$. Так как рабочие обладают разной квалификацией, то 2 рабочий с максимальной квалификацией выполнит любую работу на 2 часа быстрее (0,06 частей в относительной величине), 3 рабочий выполнит работу на 1 час быстрее (0,03 части). При данных условиях матрица трудоемкостей примет следующий вид:

$$TP_{ij} = \begin{bmatrix} 0,16 & 0,10 & 0,13 & 0,16 \\ 0,27 & 0,21 & 0,24 & 0,27 \\ 0,38 & 0,32 & 0,35 & 0,38 \\ 0,19 & 0,13 & 0,16 & 0,19 \end{bmatrix}.$$

Так как каждый рабочий уже выполнял аналогичные работы ранее, то у них появляется матрица вероятностей выполнения работ в прошлые периоды:

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

В итоге получаем матрицу переходов с функцией эффекта (4.2) следующего вида:

$$F_{\circ} = \begin{bmatrix} 1*0,2*0,16 = 0,032 & 0 & 0,026 & 0 \\ 0 & 0,084 & 0 & 0,108 \\ 1*0,3*0,38 = 0,114 & 0,096 & 0,105 & 0,114 \\ 0 & 0,013 & 0 & 0,019 \end{bmatrix}. \quad (4.3)$$

В итоге при максимизации функции эффекта (3.1) получаем наилучшее распределение работ:

- 1-ю работу выполняет 1-й рабочий,
- 2-ю работу выполняет 4-й рабочий,
- 3-ю работу выполняет 3-й рабочий,
- 4-ю работу выполняет 2-й рабочий.

С использованием полученного распределения можем описать ситуации I I I и I I II следующим образом. Ситуация I I I означает следующую последовательность работ: сделали первую работу, затем вторую работу, но пришлось еще раз вернуться к первой, затем сделать вторую работу. В этом случае назначение рабочих должно быть по матрице эффекта (4.3): (1-й рабочий, 4-й рабочий, 1-й рабочий, 4-й рабочий).

Ситуация I I II означает следующую последовательность работ: сделали первую работу, затем вторую работу, но пришлось еще раз вернуться к первой, затем сделать вторую работу, затем только перешли к третьей. В этом

случае назначение рабочих должно быть по матрице эффекта (4.3): (1-й рабочий, 4-й рабочий, 1-й рабочий, 4-й рабочий, 4-й рабочий, 3-й рабочий).

Распределение рабочих в остальных ситуациях осуществляется аналогично.

Использование имитационной модели при повторных комбинациях позволит значительно сократить время выполнения работ и выполнить их с максимальным качеством, так как каждая работа будет выполняться рабочим с лучшей квалификацией.

При этом распределенная эффективность работы следующая:

$$\mathcal{E}\phi_{нов} = 0,032 + 0,108 + 0,105 + 0,013 = 0,546 .$$

Если бы работы назначались произвольно, например, 1-ю работу выполняет 1-й рабочий, 2-ю работу выполняет 2-й рабочий, 3-ю работу выполняет 3-й рабочий, 4-ю работу выполняет 4-й рабочий, то эффективность работ была следующая:

$$\mathcal{E}\phi_{ст} = 0,032 + 0,084 + 0,105 + 0,019 = 0,411 .$$

В итоге от правильного распределения работ получаем эффективность по комплексному показателю в 33 %:

$$F_{\kappa} = \frac{\mathcal{E}\phi_{нов}}{\mathcal{E}\phi_{ст}} = \frac{0,546}{0,411} = 1,33 .$$

При этом распределении также трудоемкость работ уменьшается на 9%. Расчет по матрице трудоемкости показывает следующий результат:
 $TP_{нов} = 0,91; TP_{ст} = 1.$

4.3 Выводы по главе

1. В соответствии с единым подходом к моделированию оперативно-календарного планирования в организационно-технической системе, осуществляющей процесс ТОиР полигонного оборудования, предложена модель функционирования организационно-технической системы процесса как граф с определенными свойствами.

2. При разработке действий лица, принимающего решения в организационно-технической системе, предложена математическая модель на основе матрицы переходов Маркова, представлены возникающие ситуации обобщения и соединения работ.

3. Рассмотрен пример структурного синтеза функционирования организационно-технической системы для моделирования процесса ТОиР полигонного оборудования для четырех работ и четырех рабочих с расчетом критерия эффективности распределений за счет прироста организационного эффекта и эффекта формализации принимаемых решений.

4. Осуществлена разработка последовательности действий лица, принимающего решение для организационно-технической системы ТОиР полигонного оборудования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении представлены основные результаты и выводы диссертационной работы.

В результате проведенного исследования решена важная научная задача и достигнута цель диссертационного исследования в области повышения качества процессов технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования.

1. Проведен комплексный анализ процесса ТОиР полигонного оборудования в местах базирования (воинских частях) и подходов к повышению качества проведения ремонтных работ. Проведенный анализ показал необходимость в индивидуальном подходе при проведении ТОиР в каждом отдельном случае.

2. Проведено исследование структуры и ключевых особенностей процесса оперативного планирования ТОиР в местах эксплуатации, показывающее потребность в оптимизации ресурсов на проведение ремонтных работ, а также необходимость применения системного подхода к формированию бригад и системе оценки износа изделий.

3. Проведено моделирование процесса технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования в местах эксплуатации, основанное на применении метода сетевого моделирования к новому объекту, позволяющее прогнозировать процесс ТОиР. Директивный срок с заданной надежностью выполнения работ по представленной модели составляет 92 часа для конкретного ремонта с надежностью 98 %.

4. Разработан метод настройки параметров модели процесса технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования, основанный на применении коэффициента, показывающего степень поломок по конкретному изделию за определенный промежуток времени, позволяющий определять возможность проведения процесса ТОиР на месте базирования. При коэффициенте поломок меньше среднего коэффици-

ента по изделиям возможно проведение сервисного обслуживания на полигоне, в остальных случаях требуется либо проведение заводского ремонта изделия либо оформляется мотивированный отказ в принятии его на сервисное обслуживание.

5. Разработана имитационная модель процесса технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования на местах эксплуатации, основанная на модели модифицированной матрицы вероятностей Маркова, позволяющая оперативно планировать необходимое количество и специализацию персонала, а также сроки окончания работ для определения количества персонала и его квалификации. Предложенная имитационная модель позволяет значительно сократить время выполнения работ и повысить качество их исполнения, при этом трудоемкость работ уменьшается на 9 %, а комплексная эффективность выполнения работ составляет 33 %.

6. Проведена комплексная апробация инструментов поддержки принятия решений, разработанных на основе оценки качества выполнения процесса технического обслуживания и ремонта. Предложенный инструментарий поддержки принятия решений по управлению техническим обслуживанием полигонного оборудования на местах базирования внедрен в АО «Тулаточмаш». Экономический эффект составляет 1,5 млн рублей.

Научные и практические результаты диссертационного исследования рекомендуется применять при решении задач, связанных с организацией и оптимизацией выездных бригад, занимающихся техническим обслуживанием и ремонтом гражданских и военных изделий.

Перспективой дальнейшей разработки темы являются учёт недостатков конструкции при проектировании новых образцов полигонного оборудования с целью улучшения качества продукции, а также формирование бригад для проведения более сложного обслуживания продукции ОПК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васин, С.А. Организация процесса управления качеством изделий ответственного назначения / С.А. Васин, О.В. Пантюхин // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2020. – Вып.4. – С.195–200.
2. Маянский, В.Д. Обеспечение качества продукции оборонного назначения на различных этапах ее жизненного цикла / В.Д. Маянский // Бюллетень «Менеджмент. Вооружение. Качество». – 2017. – № 2 (52). – С. 1–9.
3. Маянский, В.Д. Высокое качество продукции ОПК – гарантия национальной безопасности государства / В.Д. Маянский // Стандарты и качество. – 2016. – № 9 (951). – С 66–70.
4. Маянский, В.Д. Стратегия управления качеством в ОПК и влияние сертификации СМК на качество продукции военного назначения / В.Д. Маянский // Бюллетень «Менеджмент. Вооружение. Качество». – 2015. – № 4(46).
5. Тебеньков, Я.С. Влияние деятельности военных представительств министерства обороны РФ на качество продукции предприятий ОПК / Я.С. Тебеньков // Национальные концепции качества: повышение качества жизни: сборник материалов VII Международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 176–179.
6. Лукьянов А.Е. Пантюхин О.В. Проблема комплексного подхода к прогнозированию процесса технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования в местах базирования // XI Международный аэрокосмический конгресс. Посвящается 90-летию со дня рождения Первого космонавта Земли Ю.А. Гагарина. Тезисы докладов – М.: Издательство «Перо», 2024. С.103–104.
7. Лукьянов А.Е. Пантюхин О.В. Подготовка универсальных специалистов по техническому обслуживанию и ремонту полигонного оборудования в местах базирования / Автоматизация: проблемы, идеи, решения: сборник трудов Международной конференции «АПИР–29–2024». Тула: Изд-во ТулГУ, 2024. С.185–188.

8. Рекомендации круглого стола на тему: «Проблемы качества в оборонно-промышленном комплексе». Москва, 13 марта 2014 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ria-stk.ru/news/detail.php?ID=82520>.

9. Кислов, А.К. Россия и международный рынок оружия. Идеология и практика / А.К. Кислов, А.В. Фролов – М.: АльфаБраво, 2009. 544 с.

10. Буренок, В.М. Механизмы управления производством продукции военного назначения / В.М. Буренок, Г.А. Лавринов, Е.Ю. Хрусталеv. – М.: Наука, 2006. – 304 с.

11. Луцкий, С.Я. Корпоративное управление техническим перевооружением фирм / С.Я. Луцкий, А.Я. Ландсман - М.: Высшая школа, 2003. - 320 с.

11. Васильев, В.А. Методология управления и улучшения качества инновационных технологических процессов / В.А. Васильев, С.А. Одинокоеv. – М., 2016. – 160 с.

12. Версан, В.Г. Системы управления качеством продукции / В.Г. Версан, И.И. Чайка. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 102 с.

13. Версан, В.Г. Интеграция управления качеством продукции: новые возможности / В.Г. Версан. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 228 с.

14. Киселев, Э.В. Обеспечение эффективности систем менеджмента качества наукоемких промышленных предприятий / Э.В. Киселев // Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2017. – № 8. – С. 50–56.

15. ГОСТ 18322 – 2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. - М.: Стандартиформ, 2011.

16. ГОСТ РВ 0101 – 001 – 2007. Эксплуатация и ремонт изделий военной техники. - М.: Стандартиформ, 2011.

17. Кривошапка, И. Оценка эффективности управления: условия, задачи и готовые ответы / И. Кривошапка, О. Кожевина // Эффективное антикризисное управление. - 2014. - №6 (87). - С. 34-39.

18. ГОСТ Р ЕН 9100-2011 Системы менеджмента качества организаций авиационной, космической и оборонных отраслей промышленности. Требования. – М.: Стандартиформ, 2012. – 32 с.

19. ГОСТ РВ 0015.002-2012 Система разработки и постановки на производство военной техники. Системы менеджмента качества. Общие требования. – М.: Рособоронстандарт, 2012. – 67 с.

20. ГОСТ Р 58876-2020 Системы менеджмента качества организаций авиационной, космической и оборонной отраслей промышленности. – М.: Стандартиформ, 2020. – 38 с.

21. Елиферов, В.Г. Бизнес-процессы: регламентация и управление: учебное пособие для слушателей образовательных учреждений, обучающихся по программе МВА и другим программам подготовки управленческих кадров / В.Г. Елиферов, В.В. Репин. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 317 с.

22. Репин, В.В. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов/ В.В. Репин. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. – 543 с.

23. Магер, В.Е. Управление качеством: учебное пособие / В.Е. Магер. – М.: ИНФРА-М, 2012.

24. Гродзенский, С.Я. Управление качеством: учебник / С.Я. Гродзенский. – М.: Проспект, 2017. – 222 с.

25. Загребаев, А.М. Методы математического программирования в задачах оптимизации сложных технических систем / А.М. Загребаев, Н.А. Крицына, Кулябичев Ю.П., Шумилов Ю.Ю. – М.: МИФИ, 2007. – 332 с.

26. Всеобщее управление качеством: учебник для вузов / О.П. Глудкин, Н.М. Горбунов, А.И. Гуров, Ю.В. Зорин; под ред. О.П. Глудкина. – М.: Радио и связь, 1999. – 600 с.

27. Панюков, Д.И. Проектирование новых производственных процессов / Д.И. Панюков, В.Н. Козловский, Г.Г. Сластина // Стандарты и качество. – №11. – 2014. – С.92-95.

28. Деминг, Э. Выход из кризиса. Новая парадигма управления людьми, системами и процессами / Э. Деминг. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. – 418 с.
29. Деминг, Э. Новая экономика / Э. Деминг. – М.: Эксмо, 2006. – 208 с.
30. Адлер, Ю.П. Система экономики качества / Ю. П. Адлер, С. Е. Щепетова. – М.: Стандарты и качество, 2005. – 182 с.
31. Овсянко, Д.В. Управление качеством: учебное пособие / Д.В. Овсянко. – СПб.: Высш. шк. менеджмента, 2011.
32. Петухова, Л. В. Всеобщее управление качеством: учебное пособие / Л.В. Петухова, С.М. Горюнова, С.Г. Смердова. – Казань: КГТУ, 2010. – 83 с.
33. Цифровая трансформация экономики и развитие кластеров : монография / А.А. Алетдинова, И.В. Андросова, А.В. Бабкин [и др.].– СПб.: Политех-Пресс, 2019. – 373 с.
34. Горбашко, Е.А. Развитие системы менеджмента качества организации в условиях цифровизации экономики: монография / Е.А. Горбашко, Н.А. Бонюшко, А.А. Семченко. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского государственного экономического ун-та, 2019. – 155 с.
35. Цифровые трансформации современного менеджмента : монография / Е.Г. Жулина, С.А. Жданов, М.А. Матушкин [и др.].– М.: РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2019.
36. Цифровая трансформация экономики и менеджмента : монография / под общ. ред. К.А. Бармуты. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2019. – 196 с.
37. Цифровая экономика: проблемы и последствия современных технологий: монография / И.Л. Авдеева, Е.Ю. Андиева, В.Б. Афанасьев [и др.]; под ред. А.В. Полянина. – Орел: Изд-во Среднерусского института управления – филиала РАНХиГС, 2019.
38. Лукьянов А.Е. Пантюхин О.В., Васин С.А., Пронин Д.А. Анализ характеристик процесса технического обслуживания и ремонта полигонного

оборудования и выбора коэффициента для дальнейшего мониторинга // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2025. №2. С.158-162.

39. Безруких, Ю.А. Управленческие инновации как фактор внедрения новых технологий: монография / Ю.А. Безруких, Е.В. Мельникова, А.В. Рубинская; под общ. ред. Е.В. Мельниковой. – Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2020.

40. Сидорин, В.В. Система менеджмента качества организации в цифровой экономике/В.В. Сидорин // Методы менеджмента качества. – 2018. – №2.

41. Попова, Л.Ф. Стратегия развития менеджмента качества на отечественных промышленных предприятиях при переходе к «цифре» / Л.Ф. Попова // Экономический журнал. – 2018. – №1 (49).

42. Волчкевич, Л.И. Комплексная автоматизация производства / Л.И. Волчкевич, М.П. Ковалев, М.М. Кузнецов. – М.: Машиностроение, 1983. – 270 с.

43. Кузнецов, М.М. Автоматизация производственных процессов / М.М. Кузнецов, Л.И. Волчкевич, Ю.П. Замчалов. – М.: Высшая школа, 1978. – 432 с.

44. Концепция методологии комплексной программы улучшений / В.Н. Козловский, Д.И. Благовещенский, Д.В. Айдаров, Д.И. Панюков, Р.Д. Фарисов // Стандарты и качество. – 2022. – № 7. – С. 36-42.

45. Шаумян, Г.А. Комплексная автоматизация производственных процессов / Г.А. Шаумян. – М.: Машиностроение, 1973.– 640 с.

46. Жачкин, С.Ю. Многофакторные методы планирования эксперимента и обработка результатов исследования: учебное пособие / С.Ю. Жачкин, О. А. Сидоркин, Н. А. Пеньков. – Воронеж: ВГТУ, 2016.

47. Гайдар, С.М. Планирование и анализ эксперимента / С.М. Гайдар. – М.: ФГНУ ««Росинформагротех», 2015. – 548 с.

48. Адлер, Ю. П. Введение в планирование эксперимента / Ю.П. Адлер. – М.: Металлургия, 2018. – 160 с.
49. ГОСТ Р ИСО 11462-2-2012 Статистические методы. Руководство по внедрению статистического управления процессами. Часть 2. Методы и приемы. – М.: Издательство стандартов, 2012. – 15 с.
50. ГОСТ Р ИСО 11462-2-2012 Статистические методы. Руководство по внедрению статистического управления процессами. Часть 2. Методы и приемы. – М.: Стандартиформ, 2012. – 19 с
51. ГОСТ Р ИСО 9000-2015 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. – М.: Стандартиформ, 2015. – 56 с.
52. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. – М.: Стандартиформ, 2015. – 32 с.
53. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Стандартиформ, 2015. – 30 с.
54. ГОСТ Р ИСО 3951-1-2015. Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по количественному признаку. Ч. 1. Требования к одноступенчатым планам на основе AQL при контроле последовательных партий по единственной характеристике и единственному AQL. – М.: Стандартиформ, 2015. – 72 с.
55. ГОСТ Р 50779.76-2018 (ИСО 39511:2018). Статистические методы. процедуры выборочного контроля по количественному признаку. Планы последовательного контроля для процента несоответствующих единиц продукции (стандартное отклонение известно) – М.: Стандартиформ, 2018.
56. Пантюхин, О.В. Анализ причин потери качества изделий комплексно-автоматизированного производства / О.В. Пантюхин // Автоматизация: проблемы, идеи, решения: сборник трудов Международной конференции АПИР–11–2006»; под ред. Ю.Л. Маткина, А.С. Горелова. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2006. – С.72–73.

57. Ключков, Ю.С. Управление процессами систем менеджмента качества с учетом требований потребителя / Ю.С. Ключков // Компетентность. – 2011. – № 2. – С. 28 – 33

58. Клячкин, В.Н. Статистические методы в управлении качеством: компьютерные технологии / В.Н. Клячкин. – М.: Финансы и статистика, 2009. – 304 с.

59. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А.И. Кобзарь. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.

60. Третьякова, Е.П. Теория организации: учебное пособие / Е.П. Третьякова. 3-е изд., стер. – М.: КНОРУС, 2014. – 224 с.

61. Мицель, А.А. Методы оптимизации: учеб. пособие / А.А. Мицель, А.А. Шелестов, В.В. Романенко. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2020. – 350 с.

62. Семахин, А.М. Сетевое моделирование информационных систем: учебное пособие / А.М. Семахин. – Курган: Изд-во КГУ, 2016. – 62 с.

63. Яковлев, С.П. Применение математической статистики и теории планирования эксперимента в обработке металлов давлением / С.П. Яковлев, В.Г. Григорович. – Тула: ТПИ, 1980. – 80 с.

64. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 2003. – 479 с.

65. Гнеденко, Б.В. Математические методы в теории надежности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. – М.: Наука, 1965. – 524 с.

66. Певнева, А.Г. Методы оптимизации / А.Г. Певнева, М.Е. Калинин. – СПб: Университет ИТМО, 2020. – 64 с.

67. Антипов, Д.В. Статистические методы управления качеством продукции: учебное пособие / Д.В. Антипов, И.П. Васильева, Е.В. Еськина. – Самара: Издательство Самарского университета, 2022. – 88 с.

68. Барвинок, В.А. Статистические методы управления качеством / А.Н. Чекмарев, В.А. Барвинок, В.В. Шалавин. – М., 1999. – 319 с.

69. Адлер, Ю.П. Практическое руководство по статистическому управлению процессами [Текст] / Ю.П. Адлер, В.Л. Шпер. – М.: Альпина Паблшер, 2019. – 234 с.

70. Адлер, Ю.П. Качество и рынок, или как организация настраивается на обеспечение требований потребителей / Ю.П. Адлер // Поставщик и потребитель. – М.: РИА "Стандарты и качество", 2000. – 128 с.

71. Васильев, В.А. Интеграция менеджмента качества и цифровых технологий / В.А. Васильев, С.В. Александрова, М.Н. Александров // Менеджмент качества и инновационный менеджмент. – 2017. – №9. – С. 14- 19.

72. Чесалов, А.Ю. Цифровая трансформация/ А.Ю. Чесалов. М.: Издательские решения Ridero, 2020. – 253 с.

73. Пантюхин, О.В. Цифровые технологии в управлении качеством / О.В. Пантюхин, С.А. Васин // Качество, инновации, образование. – 2021. – № 1. – С. 22–27.

74. Пантюхин, О.В. Цифровой двойник изделий специального назначения / О.В. Пантюхин, С.А. Васин // Качество, инновации, образование. – 2021. – № 1. – С. 37–40.

75. Пантюхин, О.В. Цифровой двойник технологического процесса изготовления изделий специального назначения / О.В. Пантюхин, С.А. Васин // Станкоинструмент. – 2021. – № 1. – С. 56–58.

76. Масааки Имаи Гемба Кайдзен. Путь к снижению затрат и повышению качества / Имаи Гемба Кайдзен Масааки. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. – 265 с.

77. Шор, Я. Б. Методы комплексной оценки качества продукции / Я. Б. Шор. – М., 1971. – 56 с.

78. Кондратьев, Э.В. Выявление и решение проблем в системах менеджмента бережливого производства российских предприятий / Э.В. Кондратьев, К.В. Новиков // Russian Journal of Management. – 2014. – №5. – С. 219 - 226.

79. Малюк, В.И. Производственный менеджмент / В.И. Малюк, А.М. Немчин. – СПб.: ПИТЕР, 2008. – 410 с.

80. Лукьянов А.Е. Пантюхин О.В. Создание сетевой модели процесса технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2025. №2. С.138-143.

81. Дрейпер, Норман Р. Прикладной регрессионный анализ / Норман Р. Дрейпер, Гарри Смит; пер. с англ. М. Власенко и др. – 3-е изд. – М.: Диалектика, 2007. – 911 с.

82. Григорьева, Т. В. Корреляционно-регрессионный анализ: учебное пособие / Т.В. Григорьева, Е.А. Муравьева, Е.А. Шулаева. – Уфа : Изд-во УГНТУ, 2019. – 170 с.

83. Григорович, В.Г. Информационное обеспечение технологических процессов / В.Г. Григорович, С.В. Юдин. – М.: Машиностроение, 1992. – 143 с.

84. Информационные методы в управлении качеством / В.Г. Григорович, С.В. Юдин, Н.О. Козлова, В.В. Шильдин; под общ. ред. В.Г. Григоровича. – М.: РИА "Стандарты и качество", 2001. – 205 с.

85. Бокс, Д. Анализ временных рядов: Прогноз и управление / Д. Бокс, Г. Дженкинс; пер. с англ. А.Л. Левшина; под ред. В.Ф. Писаренко. – М.: Мир, 1974.

86. Лукьянов А.Е. Пантюхин О.В., Васин С.А., Пронин Д.А. Составление матрицы смежности обобщенного графа для дальнейшей настройки реальных ремонтных процессов технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2025. №3. С.12-15.

87. Чураков, Е.П. Прогнозирование эконометрических временных рядов: учебное пособие / Е.П. Чураков. – М.: Финансы и статистика, 2008. – 204 с.

88. Кузнецова, В.Б. Повышение эффективности производства посредством интеграции статистических методов в функционально-стоимостный

анализ: монография / В.Б. Кузнецова, А.И. Сергеев.– Оренбург: ОГУ, 2013. – 222 с.

89. Френкель, А.А. Прогнозирование производительности труда: методы и модели / А.А. Френкель. –2-еизд., доп. и перераб. – М.: Экономика, 2007. – 220 с.

90. Авдеенко, Т.В. Компьютерные методы анализа временных рядов и прогнозирования: учебное пособие / Т.В. Авдеенко. – Новосибирск: Новосибирский гос. технический ун-т, 2008. – 270 с.

91. Демидович, Б.П. Основы вычислительной математики / Б.П. Демидович, М.А. Марон.– М.: Наука, 1966. – 664 с.

Дроздова, Е.М. Подходы к определению и оценке трудового потенциала / Е.М. Дроздова // Дискуссия. – 2012. – № 5. – С. 34-37.

92. Мазурова, И.И. Анализ эффективности деятельности предприятия: Учебное пособие / И.И. Мазурова, Н.П. Белозерова, Т.М. Леонова. - СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2010. - 113 с.

93. Максимей, И.В. Разработка имитационных моделей сложных технических систем / И.В. Максимей, В.С. Смородин, О.М. Демиденко. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2014. – 298 с.

94. Пантюхин, О.В. Разработка контрольных карт для изделий массовых производств / О.В. Пантюхин, С.А. Васин // Качество и жизнь. – 2020. – № 4. – С. 55–60.

95. Лукьянов А.Е. Пантюхин О.В. Методика контроля и прогнозирования выполнения ремонтных работ полигонного оборудования в местах базирования // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. -2024. №9. - С.93-95.

96. Лотов, А.В. Многокритериальные задачи принятия решений: Учебное пособие / А.В. Лотов, И.И. Пospelова. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.

97. Муллахметов, Х.Ш. Оценка эффективности систем контроля / Х.Ш. Муллахметов // Управление риском. - 2008. - № 2. - С. 3.

98. Пантюхин, О.В. Расчет двухступенчатых планов выборочного контроля по методу множителей Лагранжа / О.В. Пантюхин // Известия ТулГУ. Серия «Технология машиностроения». – Тула: Изд-во ТулГУ, 2003. – Вып.1. – С.108–111.

99. Лукьянов А.Е. Пантюхин О.В. Методика комплектования выездных бригад специалистами разного профиля для проведения технического обслуживания и ремонта в местах базирования на примере полигонного оборудования // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. -2025. №1. - С.297-299.

100. Синк, С. Управление производительностью: планирование, измерение и оценка, контроль и повышение / Д. С. Синк ; под общ. ред. В. И. Данилова-Данильяна; пер. С. А. Рогинко, М. С. Штернгарц. – М. : Прогресс, 1989. - 521 с.

101. Лукьянов А.Е. Оптимальное распределение работ по уровню квалификации при выполнении технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2025. №3. С.15-18.

ПРИЛОЖЕНИЕ


УТВЕРЖДАЮ»
 Управляющий директор
 АО «Тулаточмаш»
 В.Н. Филиппов
 03 / 2025 г.


АКТ

**об использовании результатов
научных исследований диссертационной работы
Лукьянова Андрея Евгеньевича**

При выполнении технического обслуживания и ремонта полигонного оборудования в местах базирования АО «Тулаточмаш» с целью совершенствования системы управления качеством предприятия использовались элементы оперативного планирования и методы оптимального формирования выездных бригад, изложенные в диссертационной работе А.Е. Лукьянова.

Исходя из рекомендаций и методик научной работы с применением математических моделей и специализированных компьютерных программ, был использован системный подход к формированию выездных бригад на основе квалификации специалистов и оценки износа изделий.

Имитационная модель процесса формирования выездных бригад позволила оперативно распределять задачи между ее членами и значительно сократить время выполнения работ, повысив их качество исполнения. При этом трудоемкость уменьшилась, а комплексная эффективность выполнения работ в отдельных случаях увеличилась на 33%.

Экономический эффект от применения имитационной модели в формировании выездных бригад за год составил 1,5 млн руб.

Директор по тренажеростроению



С.А. Курочкин

Начальник отдела по планированию
и ценообразованию НИОКР



А.А. Перов